

Ermittlung von Informationsbedarfen entlang des Lebenszyklus von Traktionsbatterien und Leistungselektronik

Masterarbeit

eingereicht bei

Prof. Dr. Andreas Rausch
Institute for Software and Systems Engineering

Fakultät für Mathematik/Informatik und Maschinenbau
Technische Universität Clausthal

von

Christian Kreutzmann
Studienrichtung: Wirtschaftsingenieurwesen

4. Fachsemester

Matrikelnummer: 423579

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iii
Abkürzungsverzeichnis	iv
1. Einleitung	1
2. Einführung in die E-Mobilität	2
2.1 Energiespeicher	3
2.2. Aufbau einer Lithiumbatterie	5
2.3. Batteriemanagementsystem.....	6
2.4. State of Health	8
2.5 Leistungselektronik	9
3 Grundlagen der Verwertung.....	9
3.1 Notwendigkeit der Verwertung	10
3.2 Verwertungsstrategien.....	12
3.2.1. Verwertung von Lithiumbatterien	12
3.2.2. Verwertung Leistungselektronik	14
3.2.3. Second Life Konzepte	16
3.3. Juristische Grundlagen	17
3.3.1. Datenschutz	17
3.3.2. Zivilrecht	18
3.3.3. Sonstige Vorschriften	19
4. Problemstellung.....	20
4.1. Skizzierung des Lebenszyklus von E-Fahrzeugen	20
4.2. Forschungsfrage	22
4.3. Verwandte Arbeiten	23
4.3.1 Ladenetzkonsortium	23
4.3.2 Second-Life Ansätze	23
4.3.3.Lösungskonzepte in anderen Ländern.....	25
5. Analyse des Lebenszyklus	25
5.1. Zulieferer.....	26

5.1.1. Marktpotential	26
5.1.2. Informationsbedarf	29
5.1.3. Informationsangebot.....	30
5.2. Original Equipment Manufacturer	30
5.2.1. Marktpotential	31
5.2.2. Informationsbedarf	33
5.2.3. Informationsangebot.....	33
5.3. Fahrzeugkunden	34
5.3.1. Marktpotential	34
5.3.2. Informationsbedarf	35
5.4.3. Informationsangebot.....	35
5.4. Second Life Kunde.....	36
5.4.1. Marktpotential	36
5.4.2. Informationsbedarf	37
5.4.3. Informationsangebot.....	37
5.5. Demontagebetrieb	37
5.5.1. Marktpotential	38
5.5.2. Informationsangebot.....	40
5.5.3. Informationsbedarf	40
5.6. Rohstoffproduzent	40
5.6.1. Marktpotential	41
5.6.2. Informationsbedarf	42
5.6.3. Informationsangebot.....	42
5.7. Konfliktstellen	42
6. Lösungskonzepte.....	43
6.1. Elektronische Wissensmärkte.....	43
6.2. Zentrale Datenbank	46
6.3. Blockchain.....	48
6.4. RFID und 2D Tags	50
6.5. Realtime monitoring.....	52
6.6. Auslesen der Daten an Ladeinfrastruktur	53
7. Lösungsskizze	55
8. Fazit und Ausblick	57
Literatur	59

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Gravimetrische Leistungsdichte vs. Energiedichte	4
Abbildung 2 Pouchzelle und Rundzelle	5
Abbildung 3 Batteriemodul und gesamtes Batteriepack	5
Abbildung 4 Schema Batteriemanagementsystem	8
Abbildung 5 Darstellung Kritische Rohstoffe	10
Abbildung 6 Schritte der Batterieprüfung	13
Abbildung 7 Zusammensetzung und Metallgehalte von Leistungselektronik	15
Abbildung 8 Skizzierter Lebenszyklus	22
Abbildung 9 Phasen Ersatzteil-Bedarfsverlauf	27
Abbildung 10 Potentielle Konfliktstellen	43
Abbildung 11 Darstellung zentraler und dezentraler elektronischer Markt	45
Abbildung 12 Darstellung Barcode	50
Abbildung 13 Darstellung QR-Code	51
Abbildung 14 Lebenszyklus mit Informationsmarkt	55

Abkürzungsverzeichnis

AltfahrzeugG: Altfahrzeuggesetz

BDSG: Bundesdatenschutzgesetz

BGB: Bürgerliches Gesetzbuch

BMS: Batteriemanagementsystem

CSC: Cell Supervising Circuit

DSGVO: Datenschutzgrundverordnung

EBV: Elektrisch betriebenes Fahrzeug

EoL: End of Life

Fhz: Fahrzeug

GSM: Global System for Communication

HSS: Hausspeichersysteme

IMDS: Internationales Materialdatensystem

LIB: Lithium-Ionen Batterien

LIZ: Lithium-Ionen Zellen

MsbG: Messstellenbetriebsgesetz

OEM: Original Equipment Manufacturer

PRL: Primärregelleistung

QR-Code: Quick Response-Code

RFID: Radio-frequency identification

SOH: State of Health

SL: Second-Life

1. Einleitung

Mit Aufkommen ambitionierter Ziele zur Reduktion von treibhauschädigen Gasen im Zuge der UN-Klimakonferenz 2015 in Paris ändert sich die Zielausprägung der individuellen Mobilität in Deutschland. Die Reduktionsziele¹ von 42 % im Jahre 2030, im Vergleich mit 1990, erfordern neue Antriebskonzepte mit verbundenen Herausforderungen der Ressourcensicherheit, Ressourceneffizienz und Technologiekosten. Eine wichtige Rolle soll hierbei die Elektromobilität spielen.

Ein elektrisch betriebenes Fahrzeug unterscheidet sich fundamental in seiner Konstruktion und Wirkweise von bisherigen, konventionell betriebenen Fahrzeugen. Neben einem höheren Rohstoffbedarf an hochpreisigen Materialien für die verbaute Elektronik, benötigen insbesondere die verwendeten Energiespeicher eine große Menge an seltenen und damit teureren Rohstoffen. Zur Befriedigung des zukünftigen Bedarfs, durch eine zunehmende Verbreitung von elektrisch betriebenen Fahrzeugen, gilt es das umweltgerechte und kostengünstige Recycling von Fahrzeugen und insbesondere der verwendeten Batteriespeicher sicherzustellen.

Aufgrund der Komplexität der Abfallströme sind neue Ansätze zur Steuerung der Fahrzeugdemontage und Aufbereitung unerlässlich. Nachnutzung und prozesssichere Verwertung benötigen Informationen, die sich entlang des Lebenslaufs eines Fahrzeugs erstrecken. Diese Arbeit befasst sich mit der Identifikation von Informationspotentialen entlang eines relevanten Lebenslaufs von elektrisch betriebenen Fahrzeugen mit Fokus auf Akteuren, die für eine effiziente Verwertung eine große Rolle spielen.

Dazu werden zu Beginn der Arbeit im Abschnitt 2. technische Grundlagen bezüglich der in Elektrofahrzeugen verwendeten Technologien erläutert. Anschließend gibt die Arbeit in Kapitel 3. einen Überblick über Grundlagen der Verwertung und Rechtsprechung. Nach einer folgenden Skizzierung des angenommenen Lebenszyklus und Vorstellung der zu beantwortenden Forschungsfrage in 4.1 und 4.2. werden einzelne Akteure entlang von Potentialen und Informationsbedarfen und -angeboten untersucht. Im vorletzten Abschnitt 6. werden dann Lösungskonzepte vorgestellt und anschließend in einem letzten Kapitel zu einer Lösungsskizze verwoben.

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Innovationsverbunds „Recycling 4.0 – Digitalisierung als Schlüssel für die Advanced Circular Economy“ erstellt. Das Ziel des Projektes ist die

¹ www.bmu.de/fileadmin/Daten/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutz_in_zahlen_sektorenziele2030_bf.pdf

Steigerung der Effizienz vollständig geschlossener Wertschöpfungsketten mittels Technologien der Digitalisierung und Industrie 4.0. Hierfür gilt es korrespondierende Informationsmarktplätze aufzubauen, die einen Austausch von Informationen zwischen Teilnehmern ermöglichen.

2. Einführung in die E-Mobilität

Wie bereits die Bezeichnung „Elektrofahrzeuge“ erkennen lässt, beruhen diese Fahrzeuge auf einem anderen Antriebskonzept als bisher verbreitete Fahrzeuge mit rein konventionellen Verbrennungsmotoren. Daher ist es sinnvoll, die wichtigsten Grundlagen eines E-Fahrzeuges zu erläutern, um auf die daraus zu resultierenden Herausforderungen zu reagieren.

Elektrisch betriebene Fahrzeuge werden im Allgemeinen in vier Gruppen unterteilt [97]. Gemeinsam haben sie alle, dass der Antriebsstrang teil oder komplett elektrifiziert ist. Die erste Gruppe bezeichnet die „Hybrid electric vehicle“. Die Traktionsbatterie wird lediglich über den konventionellen Verbrennungsmotor geladen und dient als reine Unterstützung des selbigen. Bei „Plug-in hybrid“ Fahrzeugen kann die Traktionsbatterie separat über eine externe Energiezufuhr geladen werden. Diese Batterie dient über die reine Unterstützung des konventionellen Motors hinaus zum Antrieb des Fahrzeugs über eine kürzere Strecke. Bei der dritten Gruppe handelt es sich um „Battery electric vehicle“. Sie besitzen keinen konventionellen Antrieb und beziehen die gesamte Energie über ein entsprechend dimensioniertes Batteriesystem. Die vierte Gruppe von Fahrzeugen mit elektrifizierten Antriebsstrang bezieht alle alternativ angetriebenen Fahrzeuge mit ein. Dies können Wasserstofffahrzeuge, Methanol- oder Erdgasbetriebene Fahrzeuge sein, die zur Unterstützung und Pufferung der bereitgestellten Energie ein Batteriesystem besitzen [97].

Elektrisch betriebene Fahrzeuge (EBV) stoßen keine, beziehungsweise geringe, lokale Emissionen aus. Dies wird insbesondere in der gesamtgesellschaftlichen Diskussion um drohende Fahrverbote in Innenstädten, aufgrund von Feinstaub und Schwefeloxiden, zu einem großen Argument dieser Technologie. Darüber hinaus werden in Zeiten der durch zu hohen CO₂ Emissionen hervorgerufene klimatischen Veränderungen und der daraus folgenden politischen Motivation die Flottenverbräuche der europäischen Fahrzeughersteller zu reduzieren, elektrische Fahrzeuge zu einem wichtigen Teil der Flottenstrategie [17, 90]. Wird die notwendige Energie zum Betrieb eines EBV allein durch erneuerbare Energieträger produziert, ergeben sich bereits bei mittlerer Laufleistungen CO₂ Einsparungen gegenüber konventionell betriebenen Fahrzeugen [55]. Bei einem derzeitigen niedrigen Anteil von erneuerbaren Energiequellen können diese Vorteile jedoch noch nicht erreicht werden. Darüber

hinaus zeigt sich, dass die Herstellung eines EBV vielfach ressourcenaufwendiger ist als die bisherigen Antriebsklassen. Daraus ergibt sich eine starke Motivation zum geeigneten Recycling beziehungsweise zur Wiederverwendung der Komponenten.

Gemeinsam zeichnen sich die Fahrzeuge aus den beschriebenen Gruppen darin aus, dass sie alle Komponenten zur Speicherung von Energie und zur Steuerung der selbigen haben. Dazu folgt jeweils ein Exkurs in beide Themengebiete. Im Folgenden wird darüber hinaus aus Gründen der Vereinfachung stets von Elektrofahrzeugen gesprochen, da eine weitere Differenzierung in die unterschiedlichen Gruppen für diese Arbeit nicht weiter notwendig ist.

2.1 Energiespeicher

Der Antrieb eines Elektrofahrzeuges benötigt stets elektrische Energie. Diese muss aus einem geeigneten Energiespeicher bezogen werden. Grundsätzlich können jegliche sich wiederaufladbaren Batterien, Kondensatoren oder Wasserstoff als Energieträger in Verbindung mit einer Brennstoffzelle für die Speicherung von Energie genutzt werden [65]. Früher wurden in diesem Zusammenhang insbesondere Blei-Säure oder nickelbasierte Batterien verwendet. Diese können heute noch in wenigen Hybridfahrzeugen als Nickel-Metallhydrid Batterie aufgefunden werden. In den meisten Fahrzeuge werden jedoch mittlerweile Lithium-Ionen Batterien verwendet, da diese sowohl in der gravimetrischen Energiedichte [Wh/kg] als auch in der gravimetrische Leistungsdichte [W/kg] den anderen Technologien nach heutigem Stand überlegen sind (vgl. Abbildung 1).

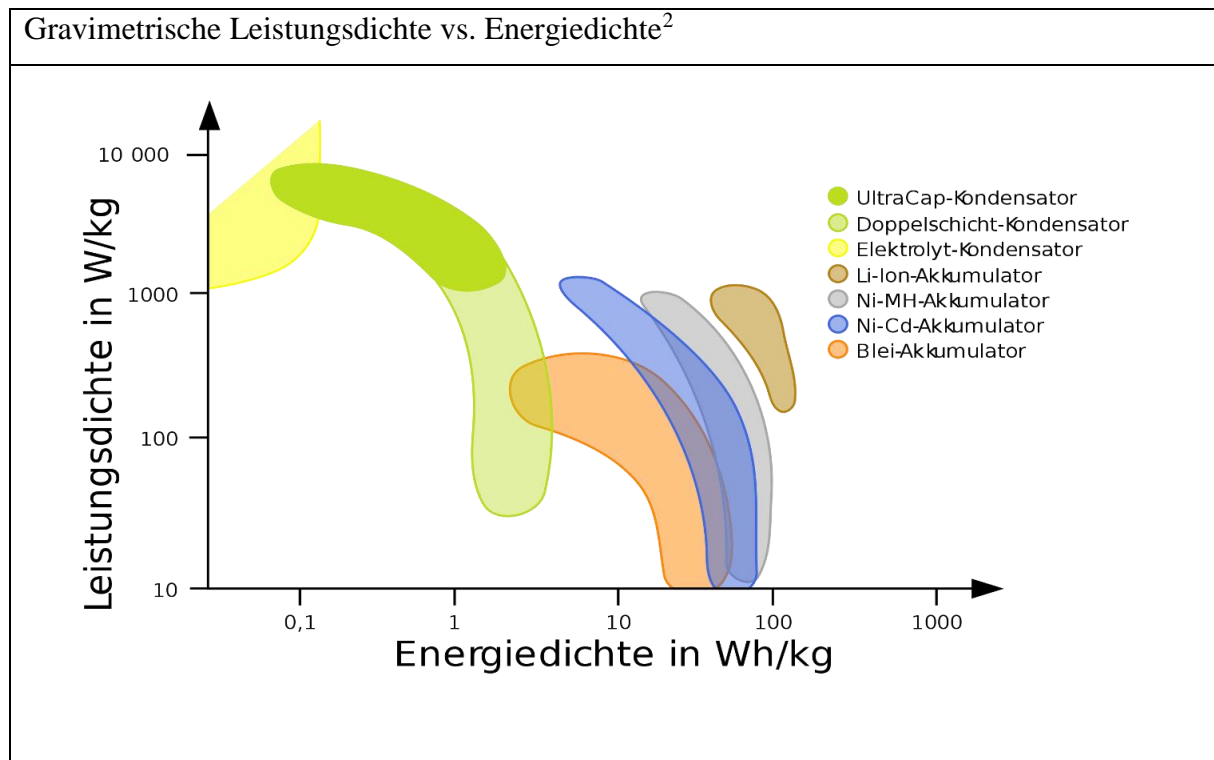


Abbildung 1 Gravimetrische Leistungsdichte vs. Energiedichte

Die gravimetrische Energiedichte beschreibt dabei, wie viel Energie pro Gewicht der Batterie gespeichert werden kann. Dies ist von Bedeutung, um bei Elektrofahrzeugen für eine große Reichweite zu sorgen. Die gravimetrische Leistungsdichte beschreibt hingegen, wie viel Leistung pro Gewicht der Batterie entnommen werden kann. Dies ist insbesondere wichtig, um genügend Leistung für die Beschleunigung eines Elektrofahrzeuges bereitzustellen [53].

Neben reiner Leistungsdaten sind Aspekte der Sicherheit, kalendarischer Lebensdauer, Zyklenfestigkeit und Wirkungsgrad sowie nutzbare Kapazität entscheidend für die Wahl einer Batterietechnologie. An dieser Stelle sei diese jedoch nicht weiter zu vertiefen.

Es ist an diesem Punkt wichtig, die Begrifflichkeiten rund um die Traktionsbatterie in einem Fahrzeug zu klären. Dabei handelt es sich bei einer Traktionsbatterie um eine Batterie, deren primäre Aufgabe der Antrieb des Fahrzeugs ist. Grundbaustein einer solchen Batterie sind die Zellen. Diese werden meist als Rundzellen oder als Pouchzellen (siehe Abbildung 2) verwendet und in einer geeigneten Anordnung zu einem Batteriemodul verschaltet [68].

² www.commonswikimedia.org/w/index.php?curid=9003610

Pouchzelle³ (links) und Rundzelle⁴



Abbildung 2 Pouchzelle und Rundzelle

So ein Batteriemodul wird dann jeweils mit weiteren Batteriemodulen und dem dazugehörigen Managementsystemen in einem gesamten Batteriepack (vgl. Abbildung 3) verschaltet und in einem Fahrzeug verbaut.

Batteriemodul (links) und gesamtes Batteriepack⁵



Abbildung 3 Batteriemodul und gesamtes Batteriepack

2.2. Aufbau einer Lithiumbatterie

Eine Traktionsbatterie besteht wie bereits beschrieben aus einer großen Anzahl von Zellen. Solche Zellen wiederum bestehen grundlegend aus vier Elementen. Dieses ist zunächst eine positive und eine negative Elektrode, ein geeigneter Elektrolyt zwischen den Elektroden, sowie

³ eveurope.eu/de/product/a123-nanophosphate-lithium-ionen-prismatic-pouch-cell-amp20m1hd-a/

⁴ www.beltrona.de/shop/LiIon/Panasonic-Li-Ion/Li-Ion-Rundzellen/Panasonic-LI-ION-Rundzelle-CGR18650CH.html

⁵ Eigene Darstellung

ein trennender Separator, der ebenfalls zwischen den Elektroden angebracht ist. Kathoden sind bei Lithium-Ionen Akkumulatoren Lithium Verbundstoffe, deren Wirtsgitter das Li-Atom als Gastatom einlagert. Daraus ergibt sich ein relativ hohes elektrochemisches Potential seitens der beiden Elektroden gegenüber dem Lithium-Metall und somit eine nutzbare Zellspannung [47].

Meist besteht die Anode aus Graphit. Unter Anbetracht der Wertschöpfung ist dieses Material uninteressant. Die Kathode besteht, wie bereits beschrieben, aus Lithiumverbindungen. Dabei kommen Elemente wie Kobalt, Nickel, Mangan, Titan und weitere vorkommen [68, 52]. Hieraus ergeben sich spezielle Herausforderungen bezüglich der späteren Handhabung und Aufbereitung bis hin zu neuen, einsatzfähigen Rohstoffen.

Der Elektrolyt hat die Aufgabe den Transport der Ionen in der Zelle sicherzustellen. Derzeit werden fast ausschließlich Leitsalze als Basis und Lösungsmittel genutzt. Diese werden mit geeigneten Additiven versetzt. Bei diesen Elektrolyten handelt es sich stets um schädliche Stoffe. Insbesondere Lithiumperchlorat ist ein brandfördernder Bestandteil der Zelle [52].

Insgesamt lassen sich somit eine Vielzahl unterschiedlicher Stoffgruppen in einer einzigen Batterie finden. Beginnend mit edlen Metallen wie Gold und Silber über sehr reaktive Metalle wie Aluminium zu organischen Stoffen im Elektrolyten. Hieraus folgt eine höhere Komplexität des Verwertungsprozesses durch jeweils andersartige Stoffeigenschaften.

2.3. Batteriemanagementsystem

Das Batteriesystem soll den effizienten und sicheren Betrieb über einen langen Zeitraum im Fahrzeug sicherstellen. Daher ist neben einer intelligenten Verschaltung der Zellen und späteren Module eine Überwachung und Steuerung notwendig. Hierzu wird ein Batteriemanagementsystem (BMS) jeweils passend für den entsprechenden Modulaufbau eingesetzt. Die Funktionen des BMS lassen sich hinlänglich in vier Grundfunktionen aufteilen. [40, 3]. Das BMS dient der Messdatenerfassung über die in den Modulen direkt verbauten Sensoren. Dabei sind insbesondere Stromstärke, Spannung und Temperatur von großer Bedeutung.

Die nächste Funktion beschreibt das Management der einzelnen Zellen. Dabei ist es wichtig, aus Aspekten der Sicherheit und Leistung die Batterie stets thermisch zu regulieren. Grund hierfür ist, dass die elektrochemischen Komponenten in ihrem Leistungsverhalten und Lebensdauer stark von der Umgebungstemperatur abhängen. Im schlimmsten Fall kann eine zu hohe Temperatur der Zellen zu einer fatalen Reaktion führen. Damit stets die Sicherheit des gesamten Fahrzeugs aus elektrischen Gesichtspunkten gesichert ist, wird die gesamte Batterie

über den sogenannten HS-Kontaktor⁶ mit der Leistungselektronik verbunden. Im Ruhezustand des Fahrzeugs wird dieser offen geschaltet. Daneben hat das BMS die Aufgabe, die Zellen bei Ladeprozessen gleichmäßig zu steuern, um die Belastungen auf alle Zellen gleichmäßig zu verteilen. Dafür wird der sogenannte „Cell Supervising Circuit“ (CSC) genutzt [52].

Als dritte Funktion lässt sich die Aufgabe der Zustandsbestimmung formulieren. Dabei sind insbesondere Kapazität und Gesundheitszustand jeder einzelnen Zelle von Interesse, sowie Ladezustand, Entladetiefe, Innenwiderstände und Leistungsfähigkeit. Diese Parameter der Zustandsbestimmung erhält insbesondere bei einer weiteren Wiederverwendung von Batterien eine besondere Bedeutung und wird in den folgenden Abschnitten des Öfteren thematisiert.

Die letzte Funktion beschreibt die externe Kommunikation des BMS mit Fahrzeugkomponenten oder gar Dritten zur Überwachung von Fahrzeugdaten. Bei den Schnittstellen zu dem Fahrzeug handelt es sich meist um eine CAN-Bus⁷ oder eine FlexRay-Bus [52].

⁶ Der Hochspannungs-Kontaktor ist eine Art Schalter, der die Batterie vom restlichen Fahrzeug trennen kann. Er dient insbesondere in einem Fehlerfall als Sicherheit vor Schäden.

⁷ Ein weitverbreitetes serielles Bussystem im Fahrzeugbau zur Reduzierung von Kabelbäumen und Gewicht des Fahrzeugs.

Schema Batteriemanagementsystem [40]

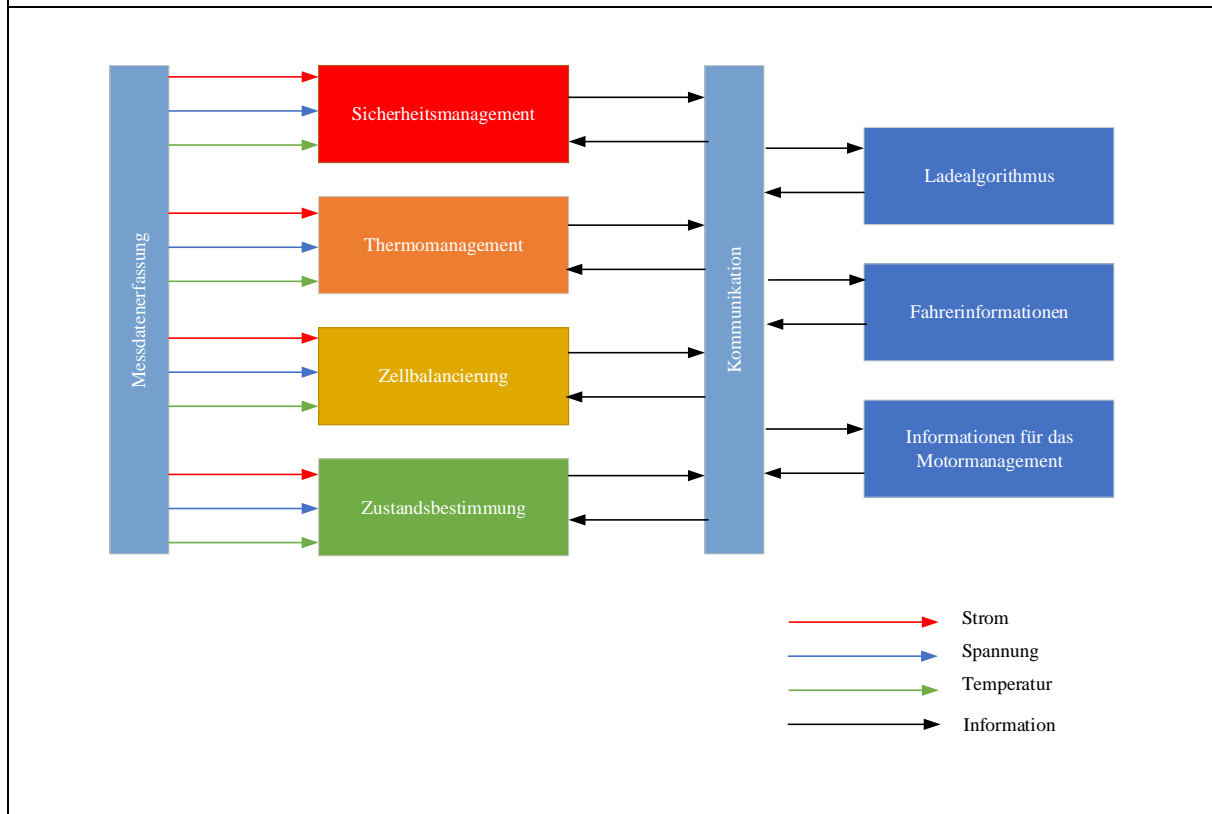


Abbildung 4 Schema Batteriemanagementsystem

2.4. State of Health

Die Identifikation des Leistungszustandes einer Batterie bzw. Zelle stellt eine große Herausforderung dar [97]. Alterungseffekte haben bei LIZ einen starken Effekt auf die Nutzbarkeit in den unterschiedlichsten Anwendungen. Bei den Alterseffekten wird zum einen zwischen der kalendarischen Alterung, bedingt durch hohe Temperaturen und einen hohen Ladezustand und zum anderen der zyklischen Alterung unterschieden. Als Folge nimmt die Kapazität der Zellen ab und die Impedanz steigt, wodurch sich der Leistungszustand und die Nutzbarkeit für anforderungsreiche Anwendungen reduziert.

Der Leistungszustand wird dabei als State of Health (SOH) bezeichnet. Er kann unter anderem als Restkapazität beschrieben werden. Dabei wird die aktuelle Kapazität einer Zelle in Verhältnis mit der Normangabe des Herstellers beziehungsweise einer Eingangsmessung gesetzt. Dies ergibt dann einen prozentualen Wert für den State of Health.

Die Ermittlung des SOH ist mit einem sehr hohen Aufwand verbunden. Die Batterien müssen zunächst auf eine definierte Temperatur erwärmt oder abgekühlt und nach einer ersten Messung und folgenden Sicherheitsbewertung vollständig geladen werden. Anschließend werden die Batterien komplett entladen. Währenddessen wird die Leistung kontinuierlich gemessen. Somit

ergibt sich ein Wert für die gespeicherte Energie. Dieser wird wiederum in Verhältnis zu der initialen Kapazität gesetzt [97, 23].

Verfahren zur Messung und Abschätzung von Kapazitäten mittels Impedanzmessung befinden sich noch in der Entwicklungsphase und sind noch nicht auf dem Markt vertreten. Einzig die Auslesung der im Batteriemanagementsystem gespeicherten Kennwerte bieten sich zur schnellen SOH Ermittlung an. Jedoch setzt dies eine offene Schnittstelle und ein funktionstüchtiges BMS System voraus.

2.5 Leistungselektronik

Die Leistungselektronik dient der Bereitstellung gespeicherter Energie für den Betrieb des Fahrzeugs. Elektrofahrzeuge werden mittels Synchron- oder Asynchron- und geschalteten Reluktanzmaschinen betrieben [68]. Bei Synchronmaschinen handelt es sich um Motoren deren Läufer (Rotor) stets magnetisch ist und synchron mit einem im Stator bewegten Drehfeld bewegt. Eine Asynchronmaschine besitzt hingegen einen stromdurchflossenen Läufer der sich asynchron zum umgebenen Drehfeld bewegt. Die Reluktanzmaschine nutzt, anders als andere Motortypen, nicht die Lorenzkraft für die Bewegung, sondern die Reluktanzkraft. Dazu ist kein Läufer mit Wicklung oder Permanentmagnet notwendig. Eine Änderung der Drehzahl wird dabei über eine Änderung der anliegenden Frequenz des Wechselstroms erreicht⁸.

An einer Batterie hingegen liegt lediglich ein Gleichstrom an, weswegen ein Elektrofahrzeug die notwendigen Inverter und Steuerungseinheiten mitführen muss. Diese sind bei aktuellen Fahrzeugen meist in einem zentralen Modul untergebracht [87]. Bei den Steuerungseinheiten handelt es sich bisher um Leistungschips mit Halbleitermaterialien auf Basis von Silizium. Aktuelle Forschungsbestrebungen setzen auf den Einsatz von Galliumnitrid und Siliziumcarbid, um den Betrieb mit höherer Frequenz und höheren Temperaturen zu ermöglichen. Dadurch lässt sich der Wirkungsgrad des gesamten Moduls verbessern. Mit Ansteigen der Betriebstemperatur wird auch das bisherige Löten mit zum Beispiel Zinn zu einer Technologie, die den Anforderungen nicht mehr standhält [27]. Als Folge entwickeln sich Verfahren, die Silber als Sintermaterial nutzen und somit für eine stoffliche Verwertung interessanter werden [27].

3 Grundlagen der Verwertung

Der folgende Abschnitt führt in die Notwendigkeit einer effizienten Verwertungsstrategie, basierend auf Aspekten der Ressourceneffizienz ein. Er schließt über eine Einführung in

⁸ www.next-kraftwerke.de/wissen/netzfrequenz

10

Die meisten Lithium-Ionen-Batterien enthalten Kobalt. Dieses wird als ein Nebenprodukt der Kupfer- oder Nickelproduktion gefördert und kommt weltweit in unterschiedlichsten Vorkommen vor. Am bekanntesten ist jedoch das Vorkommen in der Demokratischen Republik Kongo. Das Land produziert in etwa 60 % der globalen Kobaltproduktion als Nebenprodukt des örtlichen Kupferabbaus [66]. Mit steigender Nachfrage in den letzten Jahren ist der Preis des Materials von etwa 20.000 US\$ auf etwa 90.000 US\$ pro Tonne gestiegen. Mit einer prognostizierten Erschöpfung der weltweiten Vorkommen bis 2050 bei steigender Nachfrage ist davon auszugehen, dass der Preis weiter ansteigen wird [59].

Das Lithium ein wichtiges Element der Herstellung der gleichnamigen Batterien darstellt, ist offensichtlich. Hauptabbaugebiete befinden sich in Australien, Chile oder China [66]. Der Bedarf an Lithium, beziehungsweise genauer dem Lithium Carbonate, wächst konstant an und mit ihm der Preis. Kostete eine Tonne Lithium noch etwa 2.000 US\$ im Jahr 2002, so steht der Preis heute bei etwa 16.000 US\$. Die Recyclingquote ist jedoch noch sehr gering, obwohl dieser Weg der Ressourcenschonung technisch möglich ist [97, 57]. Gegen ein Recycling sprechen bisher noch die hohen Prozess- und Aufbereitungskosten. Es ist aber davon auszugehen, dass der Preis und damit die Motivation für ein Recycling ansteigen wird. Derzeit werden etwa 40 % der weltweiten Produktion für Batteriezellen genutzt. Voraussichtlich im Jahr 2025 wird dieser Bedarf jedoch auf 100 % des heutigen Lithium-Produktionsvolumens anwachsen [59].

Nickel ist Bestandteil der Kathoden einer Zelle. Diese bestehen beispielsweise bei den durch Tesla verbauten Rundzellen, produziert durch Panasonic, aus einem gleichteiligen Materialmix von Nickel, Kobalt und Aluminium. Neuere Generationen von Zellen reduzieren den Anteil der teureren Bestandteile immer weiter zugunsten eines höheren Anteils von Nickel. Bis 2021 wird eine Verteilung von 8:1:1 erwartet [42, 18]. Hauptursprungsländer für Nickel sind die Philippinen, Russland und Kanada. Derzeit werden etwa 2 Millionen Tonnen Nickel weltweit gehandelt [66]. Steigt der Anteil an elektrisch betriebenen Fahrzeugen an der gesamten Fahrzeugmenge auf etwa 10 % an, wird ein Mehrverbrauch von etwa 400.000 Tonnen prognostiziert [18].

Aluminium ist kein selten vorkommender Rohstoff. Die Herstellung aus Bauxit ist sehr energieintensiv und mit hohen Kosten verbunden. Durch Recycling von Aluminium können bis zu 95 % des Energieaufwands gegenüber der Primärproduktion gespart werden [21]. Angesichts der großen Mengen benötigten Aluminiums spielt Recycling eine übergeordnete Rolle beim Erreichen der Ziele der Einsparung von CO₂ Emissionen. Die Europäische Union

ist in etwa für 7 % der weltweit vorkommenden Aluminiumproduktion verantwortlich. Zur Deckung des eigenen Bedarfs müssen weitere Mengen aus Ländern wie Norwegen, Russland und der Schweiz importieren werden [61]. Die Preisentwicklung des Rohstoffs ist sehr fluktuierend. Im Jahr 2011 kostete eine Tonne etwa 2.700 US\$. 2016 sank der Preis zu einem Tiefstand von grob 1.400 US\$ bis zu einer Erholung von aktuell etwa 2.200 US\$¹⁰.

Bei Rohstoffen wie Kupfer oder Eisen handelt es sich nicht um kritische Rohstoffe in Bezug auf die reine Versorgung. Die Herstellung ist jedoch mit Energieaufwand und Kosten verbunden.

3.2 Verwertungsstrategien

Die Verwertung von jeglichen Abfallströmen lässt sich in wenige Grundstrategien unterteilen. Zum einen wäre dort die stoffliche Verwertung, die mittels geeigneter Verfahren die Rückgewinnung von eingesetzten Rohstoffen zum Ziel hat. Zum anderen existiert für nicht weiter verwertbaren Rohstoffen eine thermische Verwertung, bei der die enthaltene Energie des Abfalls zu thermischer Energie umgesetzt wird. Stellt ein Abfall noch einen Nutzungswert dar, kann dieser einer Nachnutzung nach Reparatur und Aufbereitung zugeführt werden.

3.2.1. Verwertung von Lithiumbatterien

Die stoffliche Verwertung von Lithiumbatterien stellt aus vielerlei Hinsicht eine große Herausforderung dar. Wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt, werden in den verbauten Zellen verschiedenste organische Lösungsmittel als Grundlage für das Elektrolyt eingesetzt. Beispielsweise findet sich Thylencarbonat, Diethylcarbonat oder vermehrt Dimethylcarbonat mit einem Flammpunkt von 15 °C als Lösungsmittel in den Zellen. Dazu kommt dann ein Leitsalz, wie Lithiumhexafluorophosphat. Es ist unter anderem giftig beim Einatmen, schwere Augenschäden hervorruft und giftig bei Hautkontakt ist. Es schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition [52, 85].

Hinzu kommen die LIB spezifischen Gefahren durch die hohe Spannung sowie einer hohen Energiedichte. In Kombination von mechanischer und gegebenenfalls thermischer Belastung oder einem Kurzschluss, kann es zu einer starken exothermen Reaktion kommen. Solche ist schwierig zu kontrollieren. Man bezeichnet dies als „Thermal Runaway“ [52]. Um den Konsumenten bei der Handhabung zu schützen, werden auf der Batteriepackung Sicherheitshinweise angebracht. Diese fordern dazu auf, die Batterien nicht zu öffnen, nicht kurzzuschließen, nicht zu beschädigen oder ins Feuer zu werfen.

¹⁰ www.finanzen.net/rohstoffe/aluminiumpreis

Ein Verwerter muss diese Gefahren stets berücksichtigen, den gesamten Prozess so gestalten, dass es zu keinem Risiko für Beteiligte und die Umwelt kommt. Nach der Anlieferung und Demontage der einzelnen Batterien aus dem Fahrzeug beim Demontagebetrieb werden die einzelnen Module klassifiziert und anschließend entweder einer weiteren Verwendung (Vgl. 4.3.2 Second-Life Ansätze) oder der stofflichen/thermischen Verwertung zugeführt [86]. Die Klassifizierung der jeweiligen Module/Zellen basiert auf in Abbildung drei Säulen.

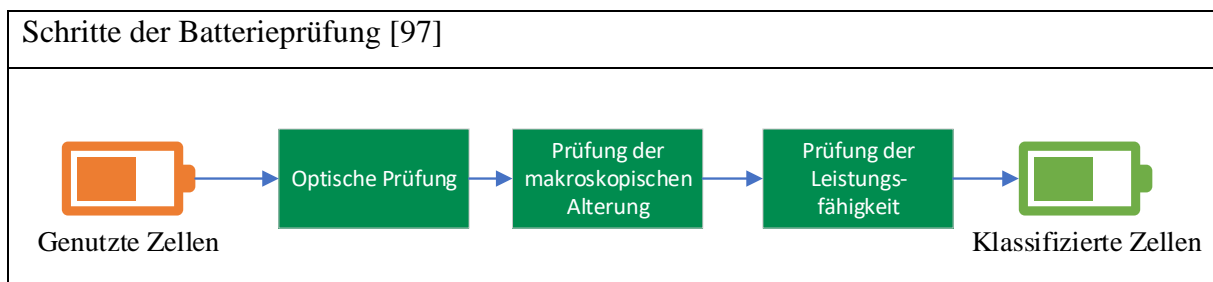


Abbildung 6 Schritte der Batterieprüfung

Beginnend mit einer rein optischen Begutachtung, bei der äußere Schäden auf einen möglichen Defekt der Zelle hinweisen. Fortführend gilt es die Alterung der Zellen festzustellen. Diese basiert auf makroskopischen Effekten in der Zellchemie und lässt sich nur über ungenaue Kriterien festlegen. So wird in der Literatur darauf verwiesen, dass eine Zelle bei einem Alter von mehr als 8 Jahren, hohe Betriebszeiten bei Temperaturen von 50-80°C oder tiefen Spannungen bei hohen Entladezyklen nicht für eine weitere Verwendung nutzbar ist [97]. Diese Informationen müssen jedoch auch auslesbar sein beziehungsweise anderweitig vorliegen.

Die dritte Säule besteht aus der Evaluierung der Batterieleistung. Dazu werden die Batterien zunächst auf eine Normtemperatur gebracht und anschließend vielfältig getestet. Es ist dabei anzumerken, dass diese Temperierung je nach Masse des Moduls bereits einige Zeit in Anspruch nimmt. Sie stellt einen weiteren Kostenfaktor bei der Verwertung dar. Anschließend müssen die Zellen einzeln durchgemessen werden. Dazu werden vereinfacht die jeweiligen Zellspannungen, internen Widerstände als auch das Ent-/Ladeverhalten beobachtet. Die Messung der Kapazität stellt eine besondere Herausforderung dar. Eine exakte Messung ist bisher nur über ein vollständiges Laden und späteres Entladen der Batterie mit gleichzeitiger Strommessung möglich. Dieser Prozess ist sehr aufwendig. Aber ohne einen Zugriff auf genaue Daten aus dem BMS gibt es noch keine zuverlässigen Alternativmöglichkeiten [97].

Der Demontageprozess der Batterien beginnt jeweils mit der Identifikation des Batteriespeichersystems und dessen Zustands. Je nach System liegen im besten Falle Entladeanleitungen für die Einheit vor. Anhand derer kann eine gefahrlose Entladung durchgeführt werden. Die gesamten Systeme werden jedoch nicht bis auf eine reine Zellebene

zerlegt, sondern verbleiben in den jeweiligen Modulen und können so zu einem neuen Batteriesystemen verschaltet werden [86].

Für die nicht weiter nutzbaren Batterieeinheiten, sei es aus wirtschaftlichen oder sicherheitsrelevanten Gründen, bildeten sich unterschiedliche Recycling-Verfahrensansätze aus. Diese sollen an dieser Stelle kurz genannt werden. Die Firma Umicore SA mit Sitz in Brüssel nutzt einen pyro- oder hydrometallurgischer Prozess, bei dem jedoch das Lithium selbst verloren geht. Daneben gibt es den Verfahrensansatz einer mechanischen und anschließender hydrometallurgischen Behandlung. Die Firma Retriev Technologies mit Sitz im kalifornischen Anaheim gewinnt hierdurch mitunter Lithiumcarbonat [46]. Genauso wie das im Rahmen des Forschungsprojektes LithoRec entwickelte Verfahren bei dem eine sehr hohe Rückholquote des Lithiums erreicht werden konnte [57].

Beispielhaft wird im Folgenden ein exemplarischer Verwertungsprozess dargestellt. Es handelt sich dabei um einen Ablauf, der an der Montanuniversität Leoben erprobt wurde. Die Prozessschritte werden hin zu einem recycelten Rohstoff gut verdeutlicht [86, 4].

Nach der Demontage und Sortierung wird das Material mittels eines thermischen Behandlungsschritts deaktiviert. Dabei werden die Zellen erhitzt, so dass sich die Beschichtung der Elektroden löst. Die Elektrolyte und der Separator werden entfernt. Das Gefahrenpotential des Materials ist durch diesen Behandlungsschritt genommen. Es lässt sich einfacher lagern und verarbeiten. Probleme der Deaktivierung stellen jedoch der Energieaufwand sowie die aufwendige Abgasnachbehandlung dar.

Nach der Deaktivierung folgt ein mechanischer Aufschluss des Materials mit dem Ziel, hohe Mengen an Wertstoffen wie Aluminium, Kupfer und Eisen direkt wiederzugewinnen. Dazu werden verschiedene Methoden wie Magnet- oder Wirbelstromscheider beziehungsweise Windsichter genutzt. Die so gewonnen einzelnen Fraktionen werden wiederum in pyrometallurgische und/oder hydrometallurgische Prozesse eingebracht, mit dem Ziel, die Wertstoffe dem Rohstoffkreislauf erneut zuzuführen.

3.2.2. Verwertung Leistungselektronik

Nach derzeitigem Stand der Technik werden Altfahrzeuge in einem Autoshreder für eine spätere Fraktionierung aufbereitet. Dabei werden bisher Elektrofahrzeuge gleichsam wie konventionelle Fahrzeuge behandelt [87]. Ein Ausbau der Leistungselektronik findet meist nicht statt, da diese Bauteile mit einem Gewicht von weniger als 15 kg für den verarbeitenden Betrieb derzeit wirtschaftlich uninteressant sind. Vor dem Shreddern werden alle

Betriebsflüssigkeiten (z.B. Öl und Kühlmittel) sowie Gefahrenstoffe und Batterien entnommen. Dazu werden bei konventionellen Fahrzeugen Katalysatoren und Motoren zur Wiederaufbereitung oder direkten Veräußerung entnommen [87]. Die Entnahme von Flüssigkeiten und verwertbaren Bauteilen und die anschließende Zerkleinerung zielt primär auf die Rückgewinnung der Eisen- und Kupferfraktion. Diese werden nach geeigneter Sortierung durch Windsichter, Magnetscheider und anderen Trennstufen einem Metallverwerter zugeführt. Die übrigen Fraktionen werden über eine Postshredderanlage anschließend via feinerer Trennstufen in die einzelnen Fraktionen aufgetrennt [87].

Die Leistungselektronik gelangt somit in die bereits angesprochenen Fraktionen, wodurch sich Aluminium mit anderen Nichteisen-Metallfraktionen mischt. Hierdurch sinkt die Qualität bzw. kann nur mit viel Aufwand zurückgewonnen werden. Die Edelmetalle verteilen sich über die verschiedenen Fraktionen, da sie sich meist auf den Platinen in Verbund mit anderen Fraktionen befinden. Sie können insbesondere aus der Shredderleichtfraktion nur schwer zurückgewonnen werden [93]. Im Zuge des Forschungsprojektes „Elektrofahrzeugrecycling 2020“ wurden durch die Partner TU Clausthal und der Firma Electrocycling 15 Leistungselektronikeinheiten demontiert und auf ihre stoffliche Zusammensetzung untersucht. Es resultieren folgende Ergebnisse [87].

Durchschnittliche Zusammensetzung der Leistungselektronik [87]	Durchschnittlicher Metallgehalt der Platinen [87]																																				
<table> <tr> <th>Stoff/Bauteil</th><th>Anteil in %</th></tr> <tr> <td>Aluminium</td><td>56,1</td></tr> <tr> <td>Eisen</td><td>8,1</td></tr> <tr> <td>Kupfer inkl. Messing</td><td>8,7</td></tr> <tr> <td>Kunststoffe</td><td>5,8</td></tr> <tr> <td>Kondensatoren</td><td>13,9</td></tr> <tr> <td>Platinen</td><td>5</td></tr> <tr> <td>Kabel und Stecker</td><td>1,9</td></tr> <tr> <td>Sonstiges</td><td>0,5</td></tr> </table>	Stoff/Bauteil	Anteil in %	Aluminium	56,1	Eisen	8,1	Kupfer inkl. Messing	8,7	Kunststoffe	5,8	Kondensatoren	13,9	Platinen	5	Kabel und Stecker	1,9	Sonstiges	0,5	<table> <tr> <th>Metall</th><th>Anteil in %</th></tr> <tr> <td>Kupfer</td><td>27,6</td></tr> <tr> <td>Zinn</td><td>2,2</td></tr> <tr> <td>Gold</td><td>0,018</td></tr> <tr> <td>Silber</td><td>0,063</td></tr> <tr> <td>Palladium</td><td>0,003</td></tr> <tr> <td>Tantal</td><td>0,024</td></tr> <tr> <td>Niob</td><td>0,002</td></tr> <tr> <td>Antimon</td><td>0,057</td></tr> </table>	Metall	Anteil in %	Kupfer	27,6	Zinn	2,2	Gold	0,018	Silber	0,063	Palladium	0,003	Tantal	0,024	Niob	0,002	Antimon	0,057
Stoff/Bauteil	Anteil in %																																				
Aluminium	56,1																																				
Eisen	8,1																																				
Kupfer inkl. Messing	8,7																																				
Kunststoffe	5,8																																				
Kondensatoren	13,9																																				
Platinen	5																																				
Kabel und Stecker	1,9																																				
Sonstiges	0,5																																				
Metall	Anteil in %																																				
Kupfer	27,6																																				
Zinn	2,2																																				
Gold	0,018																																				
Silber	0,063																																				
Palladium	0,003																																				
Tantal	0,024																																				
Niob	0,002																																				
Antimon	0,057																																				

Abbildung 7 Zusammensetzung und Metallgehalte von Leistungselektronik

Im Bereich des Elektroaltgeräte-recyclings gibt es Technologien, um hohe Rückgewinnungsquoten bei Edelmetallen zu realisieren. Diese beruhen auf einer Vielzahl von mechanischen Aufbereitungsverfahren, sowie einer Trennung in einzelne Fraktionen mittels

Rinnen und Herden¹¹ bis hin zu sensorgestützten Sortiermaschinen [87]. Die Fraktionen werden dann an Metallhütten, Kunststoffverwerter oder in die energetische Verwertung abgegeben. Daraus werden neue Rohstoffe für neue Produkte oder nutzbare Energie.

Bei unedleren Metallen, zu denen Tantal, Germanium oder Coltan gehören, reicht ein Shreddern und eine spätere Sortierung nicht aus. Aufgrund der hohen Verdünnung der Elemente in der eingebrachten Stoffmenge ist eine wirtschaftliche Rückgewinnung nicht möglich [95]. Vielmehr ist es an dieser Stelle notwendig, gezielt Bauteile zu identifizieren und dem Massenstrom für ein spezielles Recyclingverfahren zu entziehen.

3.2.3. Second Life Konzepte

Second Life (SL) Konzepte beruhen auf der Annahme, dass LIB den gesetzten Anforderungen in der Nutzung als Traktionsbatterie nach einer bestimmten Zeit nicht mehr gerecht werden können. Neben der stofflichen Verwertung ist es aus ökologischer sowie ökonomischer Sicht sinnvoller, diese LIB in einer anderen Anwendung zu benutzen. Dabei führt der Blick auf Anwendungsgebiete im Bereich der Energiespeicher für erneuerbare Energien im häuslichen oder gewerblichen Bereich oder auf die Anwendung als Batteriespeicher für eine Sicherstellung der Ausfallsicherheit kritischer Infrastruktur oder gar als Pufferspeicher, um einen Netzausbau zu vermeiden [23, 97].

Die Schritte hin zu einem Einsatz in einer SL Applikation sind dabei von einem hohen Aufwand geprägt. Erreicht eine Traktionsbatterie nicht mehr die gewünschten Leistungswerte oder wird das Fahrzeug einer Verwertung zugeführt, redet man an dieser Stelle von einem „End of Life“ (EoL). Das EoL Kriterium während der primären Nutzung der Batterie wird dabei als EoL1 bezeichnet. Es tritt grob bei einem SoH von 80 % auf [23, 71]. An dieser Stelle sei angemerkt, dass eine Batterie noch einen maximalen Verkaufswert von 50 % besitzt und somit wertiger als bei einer rein stofflichen Verwertung ist.

Nach der erfolgreichen Demontage der Batterie gilt es den SoH der einzelnen Zellen/Module zu ermitteln. Dies sind Daten, die während des Betriebs im BMS gespeichert sind. Nach aktuellem Stand sind diese Daten nicht für den Verwerter auslesbar. Dies führt zu der notwendigen Ermittlung des SoH mittels eines aufwändigen Verfahrens. Dabei werden die Module auf eine definierte Temperatur (meist -20 °C, 20 °C, 50 °C) gebracht. Anschließend wird geladen bis die Batterie die finale Ladespannung erreicht. Nun wird die Batterie wieder vollständig entladen und der SoH ermittelt. Es sei angemerkt, dass vor einer

¹¹ Rinnen und Herden nutzen Grenzschichtströmungen zur Trennung von Leichtgut und Schwergut.

Kapazitätsbestimmung jedes Modul, im besten Falle sogar jede Zelle, nach Spannung und innerem Widerstand gemessen werden muss. Ein sehr niedriger innerer Widerstand würde auf einen Schaden der Zelle hinweisen. Im schlimmsten Fall führt dies zu einem Kurzschluss mit den bekannten Konsequenzen[97]. Es ist offensichtlich, dass die Messung und daraus folgende Klassifizierung der Module sehr zeit- und energieintensiv sind. Dies reduziert wiederum die wirtschaftliche Attraktivität einer SL Batterie im Vergleich zu einem Neuprodukt [23].

Aus ökonomischer und ökologischer Sicht ergeben sich nach der vorliegenden Studie zur Nutzung von LIB in SL Anwendungen sehr positive Ergebnisse [71]. Zum einen zeigt sich, dass der Kapitalwert der Speicher im Mittel bei gewerblichem Einsatz 33 % beziehungsweise beim Einsatz im privaten Haushalten 26 % höher ist als bei Nutzung einer neuen Batterie. Darüber hinaus ergibt sich eine CO₂ Einsparung von 30 bis 106 kg pro kWh Leistung [71].

3.3. Juristische Grundlagen

Neben den technischen Grundlagen ist es notwendig, auch die juristischen Grundlagen, der für diese Arbeit wichtigen Problemstellung, in einem kurzen Exkurs zu erwähnen. Der Autor dieser Arbeit besitzt nur rudimentäre, juristische Kenntnisse und verweist daher auf tiefergehende Betrachtungen anderer Autoren wie dem Ergebnispapier „Zivil- und datenschutzrechtlichen Zuordnung von Daten vernetzter Elektrofahrzeuge“ [8].

3.3.1. Datenschutz

Bei der Betrachtung des Datenschutzes geht es stets um personenbezogene Daten und Daten aus denen sich Zuordnungen auf Personen schließen lassen. Maßgebliche Rechtsvorschriften in Europa sind dazu die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) und die nationalen Bestimmungen des Bundesdatenschutzgesetzes (BDSG) [8].

Bei vernetzten Fahrzeugen werden dabei die Daten in Kategorien unterteilt. Dieses wären zum einen technische Daten, die durch das Fahrzeug erzeugt und aggregiert werden, Daten die vom Fahrzeug erzeugt und dem Fahrer als Betriebswerte gezeigt werden, Daten aus vernetzten Fahrzeugdiensten, Daten aufgrund von Gesetzen und Daten, die vom Kunden eingebracht werden [8].

Für die in dieser Arbeit behandelte Fragestellung sind jedoch primär die Daten zur Zustandsanalyse des Fahrzeugs von Wichtigkeit. Dabei handelt es sich um Fahrprofile, SOH und Anzahl von Ladezyklen. Diese können unter die Bestimmungen der DSGVO fallen. Die Akteure müssen demensprechende Einverständniserklärungen der Nutzer einholen. Problematisch bei diesem Vorgehen ist jedoch, dass ein Fahrzeug und die Nutzung nicht

exklusiv auf den Halter beschränkt ist, sondern theoretisch jede Person in einem Fahrzeug befördert werden kann. Dann jedoch müsste vor Fahrtantritt auch von jeder Person eine Einverständniserklärung zur Nutzung der Fahrprofile eingeholt werden. Dies ist natürlich nur schwer zu realisieren und birgt im Allgemeinen ein hohes Unsicherheitspotential [8].

Trotzdem gibt es Möglichkeiten, eine Lösung zu finden. Diese finden sich in sektorspezifischen Regelungen, wodurch andere rechtliche Rahmen keine Anwendung finden. Im Fall der Elektrofahrzeuge wäre die Ladeinfrastruktur ein Ansatzpunkt. Bei diesen handelt es sich defacto um intelligente Messstellen, wo das Messstellenbetriebsgesetz (MsbG) Anwendung finden könnte. Demnach geht aus §49-51 hervor, dass die in §49 erwähnten Akteure auch jenseits von Datenschutzrichtlinien Daten erfassen und speichern dürfen, solange sie in Verbindung mit der Ladetätigkeit stehen [13]. An dieser Stelle könnte gegebenenfalls auch der Zustand der Zellen gespeichert werden. Eine Überprüfung des Zustands der Zellen findet beim intelligenten Laden stets statt. Diese Überprüfung erlaubt somit ein Tracking der Parameter eines Fahrzeugs ohne direkten Personenbezug. Der Bezug wird nämlich lediglich zwischen Stromanbieter und der Person hergestellt. Die Zustandsdaten der Fahrzeuge sind lediglich an ein Fahrzeug gebunden [8].

3.3.2. Zivilrecht

Jeder Besitzer eines neuwertigen Fahrzeugs weiß um die vielfältigen elektronischen Helfer und Vernetzungsmöglichkeiten. Heutzutage entwickelt sich das simple Radio zu einem Assistenten, der von Routenführung bis zur Terminabsprache jegliche Aufgaben übernehmen kann.

Dieser Trend zur Vernetzung wird in absehbarer Zeit verstärkter in den Themengebieten des autonomen Fahrens und der Elektromobilität auftreten. Insbesondere letztere bietet den Herstellern vielfältige Schnittstellen. Das BMS tauscht stets Daten über das Fahrzeug mit einer Ladesäule aus, um den Ladevorgang zu steuern und um die vom Kunden mit seiner personalisierten Kundenkarte notwendige Strommenge bereitzustellen.

An dieser Stelle treten vielfältigste Marktakteure, wie Versicherungen, Hersteller, Werbebranche auf, die ein Interesse an der Nutzung dieser anfallenden Daten haben. Damit wird die Frage nach dem Besitzer dieser Daten evident.

Mit zunehmender Vernetzung der Fahrzeuge und den Möglichkeiten werden Daten zunehmend ein handelbares Gut. Somit stellt sich an dieser Stelle die Frage, welcher Akteur an welcher Stelle Besitzer dieses Gutes ist. Diese Frage wird weitestgehend im Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB) behandelt, dass in § 903 den Begriff des Eigentümers als eine Person definiert, die mit

einer Sache nach Belieben verfahren kann. Dies setzt aber auch das Vorliegen einer Sache voraus, die laut § 90 BGB als einen körperlichen Gegenstand definiert ist. Dies ist aber im Fall von Daten, die unbegrenzt vervielfältigt werden können, nicht gegeben [8]. Es zeigte sich in der Untersuchung dieser Fragestellung, dass es derzeit keine Klärung über die Frage des Eigentums von Daten rund um Fahrzeuge gibt. Die Erläuterung der einzelnen Problemstellen führt an dieser Stelle im Rahmen der Arbeit zu weit. Daher wird die Lektüre des Ergebnispapiers zu „Zivil- und datenschutzrechtliche Zuordnung von Daten vernetzter Elektrofahrzeuge“ [8] empfohlen.

3.3.3. Sonstige Vorschriften

Neben den bereits erläuterten Einflüssen durch Zivilrecht und Datenschutz haben unterschiedlichste Rechtsordnungen eine hohe Relevanz für die Verwertung und Behandlung von Abfällen. Die Anzahl der Verordnungen und Gesetze mit Fokus auf das zu behandelnde Thema dieser Arbeit ist sehr hoch. Daher behandelt der folgende Text die beiden relevantesten. Darüber hinaus sei an dieser Stelle erwähnt, dass der betrachtete Markt ein nationaler ist. Daher wird lediglich die Umsetzung von Europäischen Rechts in deutsches Recht betrachtet, um eine Dopplung der relevanten Texte zu verhindern. Es gilt dabei natürlich stets ein Anwendungsvorrang für Unionsrecht [39].

Bei dem für die Entsorgung von Altfahrzeugen relevanten Gesetz handelt es sich um die „Verordnung über die Überlassung, Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung von Altfahrzeugen“ (AltfahrzeugG) [12]. Dieses Gesetz verpflichtet Hersteller oder gewerbliche Importeure zur kostenfreien Bereitstellung von Annahmestellen von Altfahrzeugen und einer anschließenden Entsorgung. Die unentgeltliche Rücknahme gilt jedoch nicht, wenn wesentliche Bauteile oder Komponenten hinzugefügt oder entnommen wurden. Die Verordnung bezieht sich auf Fahrzeuge, die allgemein hin als Personenkraftwagen bezeichnet werden. Wichtig im Bezug auf das Hauptthema dieser Arbeit sind die Zielvorgaben zur Verwertungsquote. So gilt seit 2015 eine Vorgabe von mindestens 85 % stofflicher Verwertung beziehungsweise einer Vorgabe von 95 % gesamter Verwertung [12]. Dabei beziehen sich diese Quoten nicht auf ein einzelnes Fahrzeug, sondern auf das jährliche Gesamtaufkommen der Altfahrzeuge. Diese Ziele wurden bereits seit etwa 2006 erreicht, wobei diese Zahlen aufgrund der Berechnungsvorschrift kritisch zu betrachten sind. So wurden zwischen 2010-2014 mehr Altfahrzeuge behandelt als im gleichen Zeitraum auf den Markt kamen. Dies lag an Effekten der damaligen „Abwrackprämie“, die zu einem erhöhten Aufkommen von Altfahrzeugen führte. In diesen Jahren wurden dann auch Quoten von über 100 % erreicht [14]. Für die Verwertungsquote der

Traktionsbatterien schreibt die EU Verordnung das Erreichen einer Quote von 50% Massenanteils der jeweiligen Batterie vor [25].

Neben dem AltfahrzeugG spielt das „Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren“ (BattG) bezüglich der Rücknahmepflichten von Traktionsbatterien [11] eine große Rolle. Im BattG wird im Groben zwischen verschiedenen Batterietypen unterschieden. Es wird jeweils festgeschrieben, welche Rücknahmepflichten sich für einzelne Marktakteure ergeben. Relevant für die vorliegende Arbeit ist dabei § 8. Traktionsbatterien in Elektrofahrzeugen werden dabei den Industriebatterien gleichgestellt. Der Hersteller ist verpflichtet, den Vertreibern beziehungsweise den Behandlungseinrichtungen eine „zumutbare und kostenfreie Möglichkeit der Rückgabe“ [11]. Anschließend ist der Hersteller nach § 5 beziehungsweise § 14 BattG dazu verpflichtet, für eine geeignete Verwertung der Batterien Sorge zu tragen. Der Hersteller kann jedoch von seiner Pflicht entbunden werden, wenn ein öffentlich-rechtlicher-Entsorgungsträger, gewerblicher Altbatterieentsorger oder eine andere Behandlungseinrichtung die Aufgaben der Verwertung übernimmt [11]. Neben der juristischen Motivation zur Rücknahme ergeben sich weitere Anreize und Verpflichtungen durch unterschiedliche Geschäftsmodelle. So bieten Hersteller Leasingangebote für Traktionsbatterien an. Sie sind somit stets der Besitzer einer Sache.

4. Problemstellung

Im Folgenden werden die nach einer Skizzierung des Lebenszyklus die Forschungsfrage und verwandte Arbeiten vorgestellt.

4.1. Skizzierung des Lebenszyklus von E-Fahrzeugen

Das Ziel dieser Arbeit ist, wie in Abschnitt 4. beschrieben, Informationspotentiale entlang des Lebenszyklus von Traktionsbatterien und Leistungselektronik für eine bessere Verwertung zu identifizieren. Im Anschluss sollen Handlungsempfehlungen ausgesprochen werden. Der Lebenszyklus anhand des Beispiels der Traktionsbatterien wird im Folgenden exemplarisch wiedergegeben. Es sei an dieser Stelle bemerkt, dass die einzelnen Stationen stark vereinfacht worden, um eine Übersichtlichkeit der Arbeit zu gewährleisten.

Das Leben einer Traktionsbatterie beginnt lange vor der ersten Montage einzelner Bauteile bei der Herstellung von Rohstoffen durch einen **Rohstoffproduzenten**. Dabei werden primäre und

sekundären Rohstoffen in einem geeigneten Verfahren so eingesetzt¹², dass Lithium¹³, Aluminium, Kupfer und andere an einen Zulieferer verkauft werden können [54]. Die **Zulieferer** wiederrum produzieren und entwickeln die einzelnen Bauteile des späteren Batteriemoduls [51] Ein Anteil von 70 % der Wertschöpfung an einem Batteriepack wird in der Produktion der Batteriezelle und der Produktion des Batteriemoduls generiert [15]. Die Wertschöpfung der Fahrzeugintegration wird hingegen im nächsten Schritt des Lebenszyklus durch den **Originalgerätehersteller** (OEM) erbracht. Dieser kann sich jedoch auch entscheiden, die Produktion der einzelnen Batteriemodule selbst zu übernehmen oder in einem geeigneten Joint-Venture die Wertschöpfungsstufen der Batterieproduktion zu besetzen [15]. Der OEM stellt im Allgemeinen das Ende des Produktionsprozesses dar und leitet den Übergang zur Nutzungsphase ein [15].

Der **Kunde** erhält das Fahrzeug mit allen Komponenten und nutzt dieses über eine bestimmte Laufzeit. Im Allgemeinen rechnet man dabei mit einer Nutzungszeit von etwa 150.000-200.000 km. Nach der Nutzung durch den Kunden und einer eventuellen Aufbereitung für eine anschließende weitere Nachnutzungsphase wird das Fahrzeug einem **Demontagebetrieb** zugeführt. Dieser überführt das Fahrzeug in einen verwertungsgerechten Zustand und veräußert die Bestandteile an eine direkte stoffliche Verwertung oder einem weiteren Gebrauchtteilemarkt. Die Bauteile ohne weitere Nachnutzungsperspektive werden anschließend an einen gesonderten **Rohstoffproduzent** für eine folgende Aufbereitung weitergegeben.

Die noch nutzbaren Traktionsbatterien werden vom Demontagebetrieb an **Second Life Kunden** zur weiteren Anwendung geleitet. Abbildung 8 Skizzierter Lebenszyklus den skizzierten Lebenszyklus in einer übersichtlichen Grafik dar.

¹² www.aurubis.com

¹³ www.albemarle.com/businesses/lithium

Skizzierter Lebenszyklus¹⁴

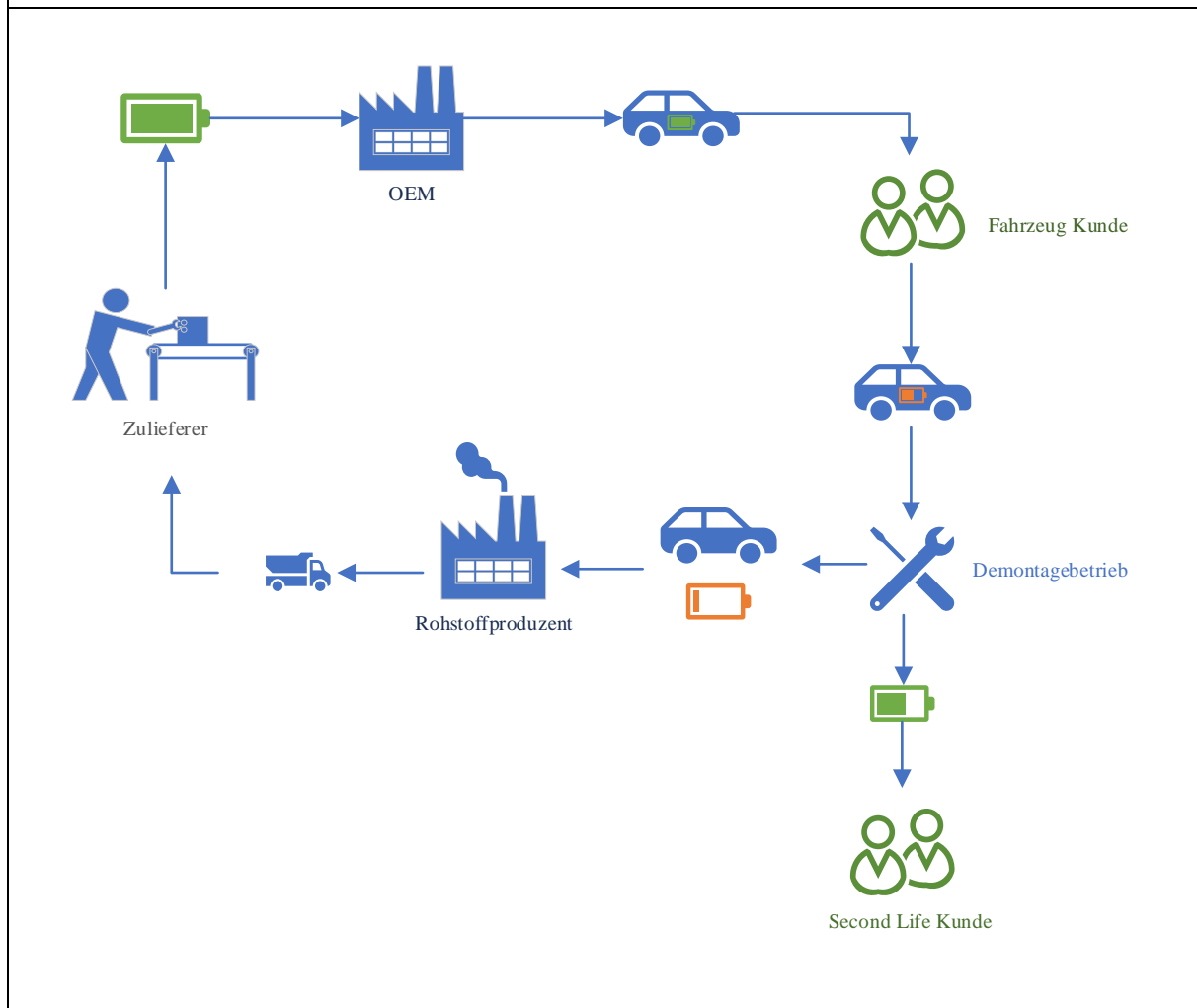


Abbildung 8 Skizzierter Lebenszyklus

4.2. Forschungsfrage

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Bearbeitung der nachfolgenden Forschungsfrage.

„Ermittlung und Abbildung des derzeitigen Lebenszyklus von Traktionsbatterien und Leistungselektronik unter Berücksichtigung bisheriger Informationsstrukturen, zur Identifizierung von Informationspotentialen und deren Bewertung zum Zwecke einer darauf basierenden Konzeption zur Steigerung des Verwertungspotentials.“

Ziel ist es, den derzeitigen Lebenszyklus von Traktionsbatterien und Leistungselektronik in einem ersten Schritt zu untersuchen und darzustellen. Dabei werden relevante Akteure mit besonderem Fokus auf bestehende Informationsstrukturen vorgestellt. In einem nächsten

¹⁴ Eigene Darstellung

Schritt werden Potentiale für eine höhere Wirtschaftlichkeit und eine Verbesserung der Ökologischen Auswirkungen mittels nachhaltigeren Nutzungs- und Recyclingstrategien identifiziert. Besonderer Fokus liegt dabei auf einer Nachnutzung von Traktionsbatterien mittels innovativer Second Life Anwendungen. Anschließend gilt es Lösungskonzepte zu entwickeln, die Machbarkeit sowie die Voraussetzungen einer Realisierung zu bewerten. Die Lösungskonzepte müssen vielfältigen, durch einzelne Akteure gestellten, Anforderungen genügen. Dabei bieten sie einen positiven Beitrag zur Nutzung der vorherig identifizierten Potentiale bei vertretbarem Aufwand.

4.3. Verwandte Arbeiten

Im Folgenden werden bereits bestehende Vorleistungen und Ansätze zur Nachnutzung von Traktionsbatterien und diesbezüglichen Bestrebungen in anderen Ländern vorgestellt.

4.3.1 Ladenetzkonsortium

Mit zunehmender Verbreitung von elektrisch betriebenen Fahrzeugen steigt auch die Nachfrage nach einer Ladeinfrastruktur. Als Vorreiter für den Aufbau einer solchen Infrastruktur gilt allgemein das Netz der „Tesla Supercharger“ der kalifornischen Firma Tesla. Seit 2012 hat Tesla etwa 1400 Stationen in ganz Europa mit Ladeleistungen von bis zu 145 kW [84] aufgebaut. Daneben entwickelten sich in den letzten Jahren vermehrt weitere Ladenetzwerke, meist betrieben von Stadtwerken und großen Versorgungsunternehmen. Diese sind jedoch nicht miteinander verknüpft, wodurch ein Kunde für jeden Anbieter einen separates Kundenkonto besitzen muss. Es kommt somit zu keinem Austausch von Daten.

Als Gegenentwurf zu dem durch Tesla aufgebauten Ladenetz bildete sich 2017 ein Joint Venture rund um die europäischen Autohersteller Daimler AG, BMW Group, Volkswagen Gruppe und dem amerikanischen Unternehmen Ford Motor Company. Die neu gegründete IONITY GmbH verfolgt das Ziel, eine eigene Ladeinfrastruktur für ein dichtes Schnellladenetz aufzubauen. Dabei werden derzeit Ladeleistungen von bis zu 350 kW erreicht [44].

4.3.2 Second-Life Ansätze

Im Bereich von Second-Life Konzepten für Traktionsbatterien gibt und gab es vielfältige Ansätze seitens der Forschung und der Umsetzung in erfolgreiche Geschäftsmodelle.

Insbesondere im Kontext der Förderinitiative „Schaufenster Elektromobilität“ der Bundesregierung entstanden mehrere Publikationen [71, 23] zum Thema SL. Diese Arbeiten befassten sich mit einer wirtschaftlichen, juristischen und ökologischen Betrachtung und der

generellen Machbarkeit von SL Konzepten. Folgend sind die wichtigsten Punkte zusammengefasst.

Seitens einer ökonomischen Betrachtung ergeben SL Konzepte ein sehr hohes Potential. Es bieten sich dabei insbesondere die gewerbliche Bereitstellung von Primärregelleistung¹⁵ (PRL) und die Nutzung in privaten Hausspeichersystemen (HSS) an. Beim Kapitalwertvergleich zwischen jeweiligen SL Konzepten und Neuanschaffungen ergeben sich bei PRL Systemen ein höherer Wert von bis zu 33 %, beziehungsweise von bis zu 26 % bei HSS Systemen [23]. Bei der Betrachtung des Potentials zur Verringerung der Total Cost of Ownership¹⁶ für Fahrzeugnutzer resultiert jedoch lediglich ein kleiner Effekt. Nach Berechnungen der vorliegenden Studie beläuft sich das Einsparpotential auf etwa 3 % des Anschaffungspreises [23]. Folglich ist zu schließen, dass SL Konzepte aus wirtschaftlicher Sicht nicht für Besitzer von Elektrofahrzeugen interessant sind. Es gibt allerdings ein Potential für eine spätere Nutzung als Speichersysteme. An dieser Stelle sei angemerkt, dass die vorliegenden Studien den derzeitigen Stand der Entwicklung betrachten. Ein mögliches Marktszenario für gebrauchte Traktionsbatterien ist denkbar und schafft somit neue Anreize.

Das ökologische Potential von SL Konzepten ist hingegen eindeutig positiv. Neben einer Senkung des Bedarfs an knappen und teuren Ressourcen von Lithium oder Nickel ergeben sich insbesondere Einsparungen bei Treibhausgas Emissionen. Demnach wird nach den in der Studie gewählten Rahmenbedingungen je kWh Nennkapazität ein Einsparpotential deutlich. Bei PRL Konzepten ergibt sich eine Reduzierung von 34 bis 106 kg CO₂ Äquivalent¹⁷ und bei HSS Konzepten eine Reduzierung von 30 bis 95 kg CO₂ Äquivalent pro kWh [23].

Seitens einer juristischen Betrachtung und damit generellen Machbarkeit einer weiteren Nutzung von Traktionsbatterien ergeben sich jedoch vielfältige Herausforderungen. Beginnend mit der Problematik der sicheren und vorschriftsgemäßen Transports von Lithiumbatterien ergeben sich weitere Fragen der Haftung und Gewährleistung für Produkte aus Wiederverwendeten Batterien [23]. Dennoch arbeiten unterschiedlichste Hersteller an neuen Konzepten und so wie bei einem Projekt¹⁸ von BMW und der Stadt Hamburg mit dem Energieversorger Vattenfall. Es entstehen vielfältigste Ansätze zur Nachnutzung von Traktionsbatterien, deren Marktreife sogar bereits bewiesen ist.

¹⁵ Leistung, die als Reserve einem Stromnetz zur Verfügung steht, um unvorhergesehene Lastschwankungen auszugleichen.

¹⁶ Die Gesamtheit aller anfallenden Kosten von Investitionsgütern, wie Energiekosten und Reparaturkosten.

¹⁷ Eine Maßeinheit, die die Klimawirkung unterschiedlicher Treibhausgase vereinheitlicht.

¹⁸ emobilitaet.online/news/forschungsprojekte/1422-second-life-batterien-fuer-die-hamburg-hafencity

4.3.3. Lösungskonzepte in anderen Ländern

Die Thematik der Kreislaufwirtschaft ist kein Thema, dass nur in Europa diskutiert wird. Insbesondere die Volksrepublik China verfolgt eine starke Agenda zur Verbesserung der Recyclingquoten. Alleine im Jahr 2018 wird in China aller Voraussicht nach eine Abfallmenge von etwa 170.000 Tonnen an Traktionsbatterien erwartet. Bei weiter steigenden Absatzzahlen ist von einer weiteren Steigerung dieser Menge auszugehen [33]. Um den Herausforderungen dieser Menge begegnen zu können, wird seit August 2018 die „Traceability-Management-Plattform¹⁹“ in 18 Provinzen erprobt.

Ziel ist es, den gesamten Lebenszyklus von Elektrofahrzeugbatterien, ähnlich wie in dieser Arbeit betrachtet, abzudecken. Das System wird dabei als globale Informationsdatenbank dienen, um die Handhabung und die Verwertung von Traktionsbatterien effizient zu steuern. Hierzu müssen sich neben den Verwertern und Batterieherstellern auch die Fahrzeughersteller an dem System beteiligen. Den Kunden muss über eine Onlineplattform Informationen angeboten werden. Jede Batterie erhält eine eigene Identifikationsnummer, um anschließend möglichst einfach identifizierbar zu sein [32, 33].

In den Vereinigten Staaten von Amerika wird das Thema des Recyclings von Traktionsbatterien stark von Gesetzen beeinflusst, die nicht unmittelbar eine Entwicklungsrouten vorgeben. Aufgrund der Staatsorganisation ergeben sich große Unterschiede in der Gestaltung und Steuerung eigener Gesetze zwischen den einzelnen Bundesstaaten.

Der „Resource Conservation and Recovery Act“ stellt eine umfängliche Dokumentation des Lebenszyklus von der Produktion bis hin zur Verwertung von Traktionsbatterien dar. Dies hat aber vorrangig das Ziel, eine Umweltgefährdung auszuschließen, nicht eine spätere effiziente Verwertung zu gestalten [41]. In eine ähnliche Auslegung geht der „Mercury-Containing and Rechargeable Battery Management Act“. Dieser sieht neben dem Verbot des Verkaufs von quecksilberhaltigen Batterien eine Verpflichtung zur eindeutigen Identifikation jeder Traktionsbatterie mittels einer Identifikationsnummer vor [1].

5. Analyse des Lebenszyklus

Im folgenden Kapitel werden die einzelnen Akteure entlang des vorher definierten Lebenszyklus genauer betrachtet. Ziel ist es, jeweils Optimierungspotentiale abzuschätzen und

¹⁹www.tbrat.org

zu identifizieren. Dazu werden für jeden Akteur neben den Potentialen auch Informationsangebote als auch Informationsnachfragen begutachtet und erläutert.

5.1. Zulieferer

Große Bestandteile eines Fahrzeugs werden nicht direkt von jeweiligen OEMs entwickelt und gebaut, sondern vielmehr von qualifizierten Zulieferern gefertigt. Es ist davon auszugehen, dass sich die allgemeine Marktstruktur kaum verändern wird. Zulieferer für konventionelle Fahrzeuge werden ihr Produktportfolio neuen Anforderungen gemäß anpassen.

Unter Leistungselektronik im weiteren Sinne werden alle Komponenten zusammengefasst, die zur Steuerung der Elektromotoren, zum Laden der Traktionsbatterien und zum Bereitstellen des Low Voltage Bordnetzes dienen. Dazu zählen das Ladegerät, die Antriebsumrichter, der Inverter und der Gleichspannungswandler [70]. Die Traktionsbatterien werden mittels eines geeigneten Batteriemanagementsystems gesteuert. Dieses wird ebenfalls von Zulieferern gefertigt und entwickelt.

5.1.1. Marktpotential

Beginnend bei der Konzeption und Entwicklung eines neuen Produktes ergeben sich für ein Bauteil unterschiedlichste Lebenszyklusphasen [22]. Mit Beginn der Produktion und spätestens mit der ersten Verwendung in späteren Fahrzeugen besteht ein Bedarf an einer Ersatzteilversorgung für eventuelle Frühausfälle. Diese Versorgung ist neben der für die Produktion der späteren Produkte notwendigen primären Versorgung an Bauteilen notwendig (vgl. Abbildung 9 Phasen Ersatzteil-Bedarfsverlauf). Es lassen sich noch keine Vergangenheitsdaten bezüglich Ausfallverhalten und damit Verbrauch an Bauteilen ermitteln. Generell gilt, dass für eine Abschätzung eines Bedarfes in der Zukunft nur schwer eine treffende Aussage getroffen werden kann [50, 88].

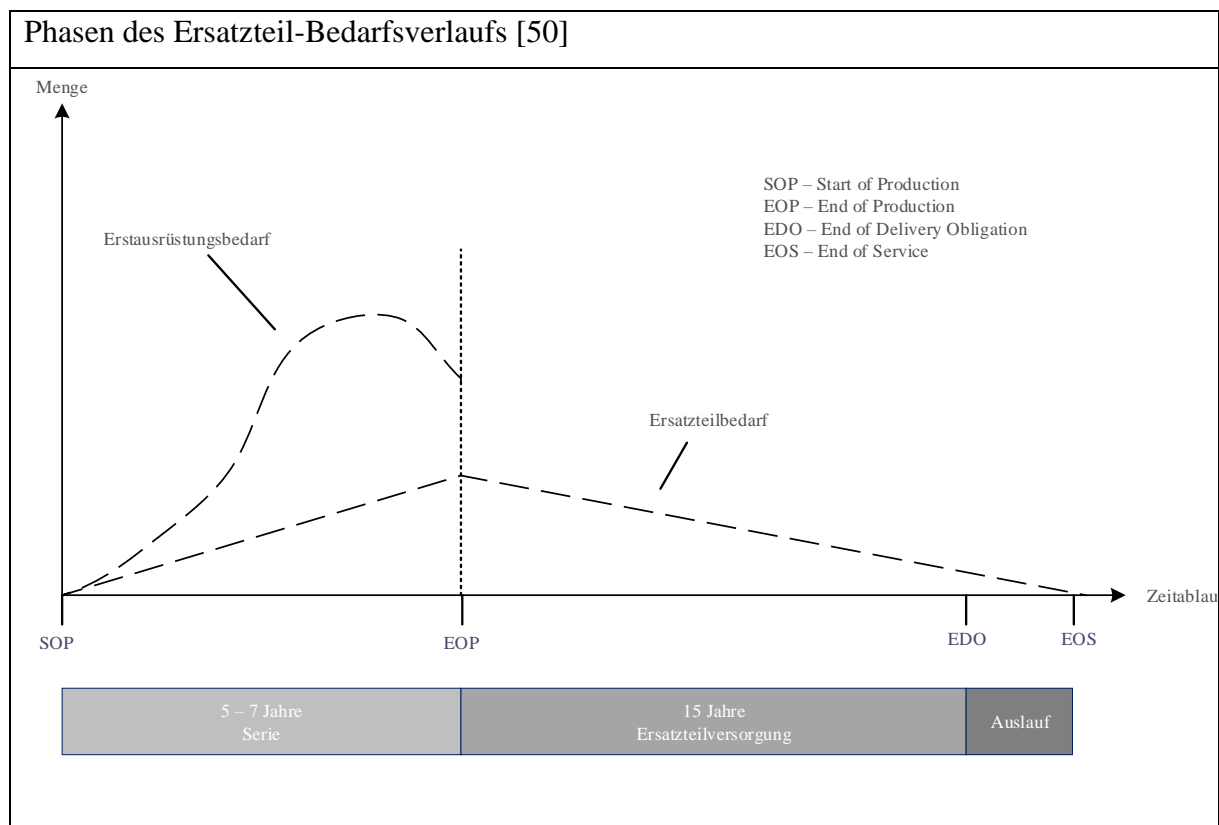


Abbildung 9 Phasen Ersatzteil-Bedarfsverlauf

Nach Ende der Serienfertigung, meist 5-7 Jahre, kommt es zu einer Konsolidierung des Fahrzeugbestandes, jedoch nicht des Ersatzteilbedarfes. Stets kürzer werdende Produktlebenszyklen und eine stärkere Individualisierung von kundenspezifischen Anforderungen an die Fahrzeuge und damit die Bauteile, führen zu einer immer komplexeren Ersatzteilversorgung [88].

Die letzte Phase wird gemeinhin als Degenerationsphase bezeichnet. Sie beschreibt damit den Rückgang des Fahrzeugbestandes aus dem Markt. Somit verkleinert sich ebenfalls der potentielle Markt für eine Ersatzteilversorgung und der Ersatzteilversorger kann im schlimmsten Fall seine Produkte nicht veräußern.

Die Automobilhersteller sind aus Gründen der Gewährleistung verpflichtet, eine Ersatzteilversorgung ihrer Fahrzeuge über die Gewährleistungszeit sicherzustellen [10]. Bei dieser handelt es sich jedoch meist nur um maximal zwei Jahren nach Kauf eines Produktes. Darüber hinaus ergeben sich aus der Rechtsprechung über den Begriff des „Treu und Glaubens“ § 242 BGB, eine längere Verpflichtung des Herstellers zur Ersatzteilversorgung. Im Normalfall wird dabei von etwa 10 Jahren ausgegangen [94, 10]. Jedoch gewähren viele Hersteller auch längere Versorgungszeiträume von durchschnittlich 10-15 Jahren oder mehr,

um eine Servicefreundlichkeit für den Kunden sicherzustellen. Der Fahrzeughersteller übergibt diese Aufgabe der Bevorratung jedoch meist den Zulieferer, minimiert damit sein wirtschaftliches Risiko, das mit einer Bevorratung von eventuell ungenutzten Bauteilen zur Folge hätte [50].

Um die Kosten für die Ersatzteilversorgung möglichst gering zu halten, haben sich unterschiedliche Strategien entwickelt. Eine Option ist die kontinuierliche Nachserienfertigung. Dabei werden meist während des Produktentstehungsprozesses Eckpunkte einer Versorgung mit Ersatzteilen mit den Zulieferern ausgehandelt. Basierend auf Prognosen fertigt der Zulieferer dann bestimmte Mengen an Ersatzteilen auf bestehenden Produktionsstraßen neu oder lässt Ersatzteile von Sublieferanten anfertigen. Mit zunehmender zeitlicher Distanz zur Serienfertigung sinkt der Bedarf an Teilen. Die jeweiligen Losgrößen werden ebenfalls kleiner. Dies führt bei ansonsten konstanten Rüstkosten zu einem höheren Stückpreis. Es ist es durchaus möglich, dass bestimmte Technologien oder Rohstoffe zu einem späteren Zeitpunkt nicht eingesetzt werden können [50].

Alternativ kann sich ein Akteur für eine Langzeitbevorratung entscheiden. In diesem Fall wird eine erwartete Stückzahl der Bauteile in ausreichenden Maßen angefertigt und gelagert. Das große Manko dieser Strategie ist, dass meist die benötigten Fertigungswerkzeuge vernichtet beziehungsweise die Maschinen abgerüstet werden, um die Produktionskapazitäten für neue Produktionslinien freizugeben. Nach Ende der Ersatzteilversorgung sind dann auch keine weiteren Bauteile verfügbar [50].

Als letzte Strategie stellt sich eine Wiederaufbereitung beziehungsweise Wiederverwendung von Altteilen dar. Dabei werden Bauteile aus Altfahrzeugen von Zulieferern oder anderen Akteuren aufgekauft/gesammelt. Es wird versucht, diese Bauteile wieder in einen einsatzfähigen Zustand zu bringen. Beispielsweise bietet Bosch mit seinem „eXchange“-Programm einen Service zur Annahme von verschleißenden Bauteilen und einem Verkauf von wiederaufbereiteten Bauteilen an [73]. Bei konventionell betriebenen Fahrzeugen stellt diese Strategie insbesondere bei Verschleißteilen eine große Herausforderung dar. Antriebsteile sind meist nach einer bestimmten Betriebsdauer nur unter hohem Aufwand wieder in einen einwandfreien Zustand zu bringen. Darüber hinaus lassen sich Bauteile meist nicht außerhalb einer Produktfamilie flexibel austauschen.

An dieser Stelle ergeben sich neue Möglichkeiten mit Aufkommen von elektrisch betriebenen Fahrzeugen. Elektrische Komponenten kennen im Normalfall keine Abnutzung. Sie befinden sich in den Zuständen defekt oder noch funktionsfähig. Eine zunehmende Standardisierung der

Bauteile entlang ganzer Konzernstrukturen wirkt sich äußerst positiv aus. Beispielweise werden beim durch Volkswagen entwickelten „modularen Elektroauto-Baukasten“ wenige Unterbauten mit gleichen Komponenten entwickelt, die entlang der Produktfamilien im Volkswagenkonzern genutzt werden [29]. Diese Komponenten können nach Ende der Nutzungszeit des Fahrzeugs dem Stoffstrom entnommen und wiederaufbereitet werden. Wiederaufbereitung beinhaltet in diesem Sinne insbesondere ein Update der Software und eine ausgiebige Funktionsprüfung.

Durch Sammlung und Auswertung von Statusdaten lässt sich darüber hinaus ein zu erwartender Bedarf an Ersatzteilen besser abschätzen. Ausfallwahrscheinlichkeiten einzelner Komponenten können durch ein tiefergehendes Monitoring und die Berücksichtigung von Umgebungsvariablen besser ermittelt werden.

Neben der Verwendung in einem ähnlichen Anwendungsfall, zum Beispiel in einem anderen Fahrzeug, wäre es möglich, die Bauteile auch einer anderen Nutzung zuzuführen. Dies wäre insbesondere für SL- Applikationen interessant, da dort die Wirtschaftlichkeit von den ersten Investitionskosten abhängt [23, 71]. Dieser Aspekt wird in einem späteren Abschnitt vertieft.

Neben der Problematik der Ersatzteilversorgung ergeben sich weitere denkbare Potentiale im Bereich der Bauteilprüfung und Nutzung von generierten Fahrzeugdaten. Ein Zulieferer könnte neben eigenen Tests auf eine große Datengrundlage aus dem wirklichen Alltagsgebrauch zurückgreifen. Diese wiederum lassen sich mit anderen Informationen rund um das Nutzungsprofil eines Fahrzeugs verknüpfen. Sie führen unter Umständen zu besseren Lösungen für eine Entwicklung von neuen Produkten.

Auf einer rein geschäftlich orientierten Ebene zeigen sich Potentiale bei der Abschätzung von Marktpreisen für benötigte Rohstoffe. Mittels umfassender Datengrundlage über zu erwartende Rücklaufmengen lassen sich gegebenenfalls Preisentwicklungen abschätzen und in der Kostenrechnung für neue Produkte integrieren. Ein Zulieferer könnte darüber hinaus die gesammelten Fahrzeugdaten für Marketingzwecke nutzen und gegenüber den OEMs als Argument für seine Preisgestaltung hervorbringen.

5.1.2. Informationsbedarf

Informationsbedarfe lassen sich im Kontext der Datensammlung aus natürlichen Nutzungsprofilen sehen. Wie bereits beschrieben, kann ein Zulieferer durch verlässliche Daten neue Erkenntnisse für zukünftige Produktentwicklungen gewinnen. Dazu braucht der Zulieferer möglichst Informationen mit einer guten Aussagefähigkeit. Dies wird in der Literatur

als Problem der Sicherstellung einer Informationsqualität beschrieben. Dabei geht es darum, Informationen bezüglich ihrer Fehlerart und Häufigkeit beurteilen zu können. Diese Informationen sind wiederum in Kontext mit anderen Informationen zu setzen [37]. Daher ist der Zulieferer bestrebt, ein möglichst vollständiges Bild des Nutzungsprofils der Bauteile zu erhalten. Zusätzlich hat der Zulieferer ein Interesse an Informationen aus anderen Quellen, wie den Demontagebetrieben oder dem Werkstattnetz des OEMs, um seine gesammelten Informationen zu validieren beziehungsweise zu erweitern.

Neben der reinen Datensammlung für neue Produktentwicklungen bieten bessere Daten über die Verwendung von Fahrzeugen eine Grundlage zur besseren Abschätzung von Ersatzteilbedarfen. Sie können somit zu einer Kostenreduzierung durch bessere Gestaltung der Ersatzteilkapazitäten führen.

5.1.3. Informationsangebot

Die Zulieferer können vielfältige Informationen zu Inhalten der einzelnen Bauteile bereitstellen und auch für eine geeignete Kennzeichnung vorliegender Bauteile sorgen. Diese Daten liegen bereits in Verzeichnissen wie dem „International Material Daten System“²⁰ vor und müssen anderen Akteuren zur Verfügung gestellt werden.

Des Weiteren können Zulieferer die benötigte Software und das Wissen für neue Anwendungen von gebrauchten Bauteilen liefern. Dies würde die Kosten für eine Nachnutzung für andere Akteure reduzieren.

5.2. Original Equipment Manufacturer

Die Geschichte und Entwicklung der Fahrzeughersteller ist geprägt von Innovationen und industriellen Umbrüchen. Im Jahre 1886 baute Carl Friedrich Benz das erste Automobil aus einer Pferdekutsche und einem Verbrennungsmotor [79]. Die Produktion war aufgrund einer individuellen Fertigung sehr arbeits- und kostenintensiv, wodurch das Automobil nur wohlhabenden Schichten vorbehalten war. Der Amerikaner Henry Ford initialisierte den Durchbruch des Automobils in der breiten Bevölkerung durch eine Kostenreduzierung mittels neuer Produktionsmethoden und wurde zum damaligen größten Fahrzeughersteller der Welt [24]. Im Laufe der Jahrzehnte entwickelten sich neue Antriebs- und Produktkonzepte, jedoch verblieb die Kernkompetenz der Hersteller, respektive Zulieferer, im Bereich der mechanischen Entwicklung und der reinen Produktion von Fahrzeugen.

²⁰ www.mdssystem.com/

Das 21. Jahrhundert ist hingegen geprägt von der Suche nach neuem Antrieb und Nutzungskonzepten, um drohende ökologische Veränderungen, insbesondere dem Klimawandel, entgegen zu treten. Waren bisher u.a. Laufruhe der Motoren ein Kriterium zum Kauf einer Marke, verlieren diese altgedienten Eigenschaften an Kraft. Vielmehr steigt das Verlangen des Kunden an ausgereiften Softwarelösungen im Bereich der Infotainmentelektronik und die Befriedigung des ökologischen Gewissens.

Letzteres führt insbesondere zu einer Steigerung des Bedarfs an elektrisch betriebenen Fahrzeugen, die jedoch zu neuen Herausforderungen in der Rohstoffversorgung führen. So werden ein Großteil der Lithiumproduktion in Länder wie Australien und Chile, sowie China realisiert. Es stellt somit ein potentiellcs Versorgungsrisiko bei einem Anwachsen der Produktionszahlen von Elektrofahrzeugen dar. Folglich besteht auch seitens der Hersteller ein Interesse an verbesserten Recyclingprozessen, um das Versorgungsrisiko und die damit verbundenen Kosten möglichst niedrig zu halten [66, 31].

5.2.1. Marktpotential

Das erste Potential besteht in der bereits bei den Zulieferern beschriebenen Problematik der ausreichenden Ersatzteilversorgung. OEMs halten selber große Mengen an Ersatzteilen für ihre Fahrzeugmodelle vor, so lagert Volkswagen alleine im Niedersächsischen Baunatal ein Logistikzentrum mit einem Bestand von etwa 420.000 Ersatzteilen, um schnell auf Ersatzteilbedarfe aus dem Werkstattnetz reagieren zu können [7]. Es wäre denkbar, dass mit fortlaufenden Informationen aus dem Betrieb der Fahrzeuge die Abschätzung der benötigten Ersatzteile besser durchgeführt werden kann. Im besten Falle bestellt ein Fahrzeug schon bei Schadenseintritt ein Ersatzteil selbstständig. Dazu muss jedoch eine geeignete Datenschnittstelle zwischen Fahrzeug und Hersteller gegeben sein.

Ein weiteres Potential ergibt sich dabei insbesondere aus der Lagerung von Ersatzbatterien. Diese Batterien können nicht einfach in eine Lagerhalle gestellt werden, sondern bedürfen einer Überwachung und steten Ladung. Die Daimler AG hat hierzu in Kooperation mit den Stadtwerken Hannover AG ein erstes Batterie-Ersatzteillager für Elektrofahrzeuge ans Netz genommen. Dort werden ca. 3000 Batteriemodule zu einem Stationsspeicher gebündelt und dem Übertragungsnetzbetreiber für die Erbringung von Primärregelleistung zur Verfügung gestellt [34]. Wie bereits im Abschnitt über Second Life Applikationen beschrieben, bilden OEMs weitere Kooperationen mit anderen Unternehmen, um auch altgediente Batteriemodule für neue Anwendungsfälle zu verschalten.

Der Aspekt der Nachnutzung oder Veräußerung von Batteriemodulen impliziert jedoch in einem vorauszu gehenden Schritt, dass die OEMs in den Besitz der Batteriemodule kommen müssen. Es ergeben sich zwei unterschiedliche Wege der Module. Seitens einer Demontage durch einen unabhängigen Demontagebetrieb ist anzunehmen, dass dieser seine Module an den Nachfrager mit der höchsten Zahlungsbereitschaft veräußern wird. Dies muss jedoch nicht zwingend der OEM, sondern kann durchaus ein dritter Akteur sein. Es wäre dem OEM möglich, sich selbst um die Demontage der Module aus den Fahrzeugen zu kümmern. Dies ist ein erheblicher Investitionsaufwand in die Demontagestruktur.

Ein dritter Weg zum Erhalt der Batteriemodule ergibt sich jedoch aus neuen Angeboten, die der OEM bei Überlassung des Fahrzeugs an den Kunden machen kann. Leasingangebote machen in Deutschland einen Anteil von etwa 41% aller neu zugelassenen Fahrzeuge aus [30]. Darüber hinaus bieten manche Hersteller bereits ein Leasing der Batteriemodule an [72]. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass der OEM nach Ende der Nutzungszeit einen direkten Einfluss über den Verbleib der Batteriemodule gewinnt. Es ist somit auch für den OEM wichtig zu wissen, wie eine jeweilige Batterie genutzt wurde und wie der SOH der jeweiligen Einheit ist. Diese Information ist jeweils ein wichtiger Bestandteil der Restwertbeurteilung eines Fahrzeugs und somit wichtig für die Berechnungen des OEMs. Dabei wäre es für den OEM vorteilhaft, diese Informationen auch während des Betriebs sammeln zu können und nicht erst wenn das Fahrzeug einer Demontage zugeführt wird.

Auch außerhalb der reinen Verwertung bieten sich dem OEM mit vermehrten Verkäufen von Elektrofahrzeugen weitere Geschäftspotentiale, die wiederum Informationsschnittstellen für eine spätere Recyclingroute bieten.

Es gibt Ansätze, große Flotten von Fahrzeugen intelligent zu verschalten und zu steuern, um mit ihnen Regelleistung für das Stromnetz anzubieten. Das wäre ein Beitrag für die Wende von konventioneller Energieversorgung mit Großkraftwerken hin zu dezentralen, erneuerbaren und weitaus kleineren Kraftwerken. Diese Ansätze werden unter dem Oberbegriff „Smart-Grid“ zusammengefasst²¹. Wichtig für den Erfolg dieser Technologie ist die Verfügbarkeit von Schnittstellen zum Überwachen und Steuern der Fahrzeuge, wenn sie an einer Ladeinfrastruktur angeschlossen sind. Es ist dabei zu erwähnen, dass diese Prozesse möglichst schnell ablaufen müssen, da sonst eine effiziente und sichere Steuerung des Netzes nicht sichergestellt werden kann [62, 80, 69].

²¹ Smart-Grid bezeichnet ein intelligentes Stromnetz, dass die Erzeugung, Speicherung und den Verbrauch steuert. Dabei ist das Ziel Leistungsschwankungen effizient auszugleichen.

Neben der reinen technischen Betrachtung von neuen Geschäftspotentialen ergeben sich für den Hersteller neue Möglichkeiten zur Identifikation von Bedürfnissen seiner Kunden. Dies ermöglicht, insbesondere im Marketing, neue Möglichkeiten. Ein Unternehmen könnte zum Beispiel Werbung schalten, damit ein Fahrzeug den Fahrer informiert, an einer bestimmten Ladesäule zu laden. Für diese Dienstleistung könnte der Hersteller wiederum eine Gebühr verlangen. Dies setzt jedoch eine konstante Datenverbindung zwischen Fahrzeug und Hersteller/Dienstleister voraus, über die ebenfalls weitere Informationen übertragen werden könnten.

Bei den bisher genannten Potentialen handelt es sich um Ideen und Abschätzungen, die einer unternehmerischen Entscheidung unterliegen. Ob ein Hersteller in den Energiemarkt einsteigen will, oder die Daten an weitere Dienstleister verkaufen möchte, entscheidet er letztlich innerhalb eines rechtlichen Rahmens und einer monetären Dimension. Die genannten Rechtsgrundlagen zwingen jedoch den Hersteller auch außerhalb einer rein gewinnorientierten Perspektive zu agieren. Die Erreichung der in der AltfahrzeugG gesetzten Ziele bedürfen eine Verbesserung der Verwertungsstrategien, die bei einer effizienten Demontage beginnt. Die Hersteller sind somit gefordert, diese Akteure wie beschrieben zu unterstützen. Es wäre auch denkbar, dass der Gesetzgeber in den nächsten Jahren weitere Verschärfungen auf den Weg bringt, um die Ressourcensicherheit in der europäischen Union zu stärken. Stichwort „Extended producer responsibility“, ein Ansatz, die Hersteller auch nach Verkauf der Produkte bis zum Ende des Produktlebenszyklus in Verantwortung zu nehmen. Dadurch soll verhindert werden, dass hauptsächlich der Staat und somit seine Bürger für die Entsorgungskosten aufkommen müssen. Diese würden dann zu einer weiteren Motivation hin zu besseren Verwertungsprozessen führen [19, 64].

5.2.2. Informationsbedarf

Die Fahrzeughersteller werden als Schlüsselakteur vollständigen Zugriff auf die durch ein Fahrzeug erstellten Informationen haben, damit sie diese nicht aus einem angeschlossenen Informationsmarktplatz beziehen. Es besteht lediglich ein Interesse an Informationen aus dem Demontageprozess. Der OEM könnte damit genauere Rückschlüsse auf sein Qualitätsmanagement und auf gesetzlich vorgeschriebene Recyclingquoten erhalten.

5.2.3. Informationsangebot

Der Fahrzeughersteller besitzt das Monopol auf jegliche Art an Informationen. Er ist somit der kritischste Akteur des gesamten Informationsmarktplatzes. Nur mit dem OEM können

Datenschnittstellen definiert und auch implementiert werden, da die OEMs Entwickler des gesamten Fahrzeugkonzeptes sind.

Damit ergeben sich für den OEM auch eine Vielzahl von Möglichkeiten, Informationen zu sammeln und auch zu vertreiben. Dies beginnt bei Montagedaten, die an die Demontagebetriebe weitergegeben werden können. Der OEM kann dazu auch Schätzungen über das Aufkommen von Altfahrzeugen generieren und an die anderen Akteure im Markt zur besseren Kapazitätsplanung veräußern. Dies wird insbesondere im Kontext der Ersatzteillieferung sowie der Produktionsplanung für SL-Applikationen ein wichtiger Einflussfaktor für die Wirtschaftlichkeit dieser Konzepte.

5.3. Fahrzeugkunden

Die Nutzer und Käufer von elektrisch betriebenen Fahrzeugen stellen neben den Herstellern mit der jeweiligen finalen Produktverantwortung den Kernakteur entlang des Lebenszyklus von Traktionsbatterien und Leistungselektronik. Die Kaufbereitschaft gibt Trends und Entwicklungsrichtungen in der Elektromobilität vor, die auch im Kontext der späteren Recyclingmethodik eine große Rolle spielt. So möchten Kunden nicht auf große Reichweiten verzichten, was zu größeren Batteriekapazitäten und damit einhergehenden Rohstoffeinsätzen führt [20, 91]. Höhere Batteriekapazitäten führen jedoch auch zu höheren Investitionskosten und dem Bestreben, nach Ende der Nutzungszeit, einen möglichst hohen Verkaufspreis zu erzielen. Eine ökologische Dimension bezüglich Ressourcenschonung lässt sich darüber hinaus als relevant identifizieren. Es ergibt sich dadurch ein generelles Interesse an einer guten Verwertung, sei es stoffliche oder weitere Nutzung. Eine Steigerung der Akzeptanz bei der Sammlung von Informationen, wie einem vollständigen Fahrprofil, ist feststellbar.

5.3.1. Marktpotential

Besitzern von elektrisch betriebenen Fahrzeugen bieten sich vielfältige Potentiale durch die Verfügbarkeit von Daten beziehungsweise der Einrichtung von Schnittstellen und weitergehenden Serviceangeboten entlang des Lebenszyklus von Traktionsbatterien. Wie bereits in Abschnitt 4.3.2 Second-Life Ansätze. erläutert, könnten Fahrzeugkunden mit eigener Ladeinfrastruktur von der Anbindung ihres Fahrzeugs an das öffentliche Stromnetz mittels Smart-Grid profitieren. Die Fahrzeuge würden dann als ein virtuelles Kraftwerk verbunden. Die angebotene Regelleistung könnte auf dem Markt veräußert werden, wodurch jeder Teilnehmer einen Teil des Erlöses erhalten könnte [69]. Ein weiterer Ansatz ist die Nutzung der Fahrzeuge für den eigenen Haushalt als Ersatz für fest eingebaute Speicherlösung. Die Batterien können wie im Kapitel über die SL Kunden beschrieben unterschiedlichste Aufgaben

übernehmen. Sie werden zu einem wirtschaftlichen Vorteil für die Kunden [63, 77]. Die bisherigen negativen Einflüsse auf die Leistungsfähigkeit der Batterien dürfen dabei jedoch nicht vernachlässigt werden. Daher werden ausreichende Schnittstellen für die Steuerung und Überwachung der Batterien benötigt [83]. Diese decken sich mit denen, die für die Sammlung bereits in vorherigen Kapiteln angedachten Informationen und ergeben einen weiteren Anreiz zu Implementierung der selbigen in neue Fahrzeugkonzepte. Eine Akzeptanzsteigerung gegenüber der Weitergabe von Daten lässt sich darüber hinaus durch ökologische Argumente erreichen. Dem Kunden kann ein Beitrag zur Energiewende bescheinigt werden, bietet neben finanziellen Anreizen eine gute Möglichkeit die in dieser Arbeit diskutierten Ansätze zu realisieren.

Weitere Aspekte einer umfassenden Sammlung von Informationen bieten sich im Bereich der Restwertbetrachtung. Der Kunde hat ein natürliches Interesse, sein Fahrzeug nach Ende der Nutzungsdauer zu einem möglichst hohen Preis zu veräußern. Bei Elektrofahrzeugen wird dieser Preis voraussichtlich stark vom SOH der Traktionsbatterie abhängen, dessen Überwachung mittels Schnittstellen sichergestellt werden kann. Ebenfalls im Bereich der Restwertbetrachtung gliedert sich die Möglichkeit der Reparatur und Ersatzteilversorgung an. Nur mit einer funktionierenden und möglichst günstigen Ersatzteilversorgung lassen sich Fahrzeuge auch nach vielen Jahren noch sicher betreiben. Somit profitiert der Kunde erneut von den in vorherigen Abschnitten beschriebenen Ansätzen.

Im Abschnitt 5.2.1. Marktpotential wurde bereits über die Platzierung von Werbung gesprochen beziehungsweise dem Wert von Nutzungsdaten für andere Akteure. Kunden können, ähnlich wie bei anderen Onlinediensten, ihre Daten aktiv zur Verfügung stellen und von besonderen Angeboten oder direkten finanziellen Anreizen profitieren. Für die Umsetzung müssten die Fahrzeuge erneut in ein geeignetes Informationsnetzwerk eingebunden werden und erhöhen somit die Akzeptanz für eine Datensammlung entlang des Nutzungszeitraumes.

5.3.2. Informationsbedarf

Direkte Informationsbedarfe lassen sich lediglich bei der Ermittlung des SOH sehen. Diesen kann der Kunde direkt aus seinem Fahrzeug ablesen mittels einer geeigneten Schnittstelle, die ihm vom Hersteller zur Verfügung gestellt wird.

5.4.3. Informationsangebot

Der Kunde kann unterschiedliche Informationen anbieten. Dies wären zum einen die Nutzungsprofile. Dabei handelt es sich beispielsweise um Informationen nach genutzter

Ladeinfrastruktur, Leistungsabfragen oder Fahrprofilen. Daneben kann der Kunde seine Bewegungsprofile für weitere Akteure veräußern.

5.4. Second Life Kunde

Die Nutzung von Batteriespeichersystemen in jeglicher Form ist bisweilen noch wenig verbreitet. Lediglich in Bereichen wie der Notstromversorgung kritischer Infrastruktur fanden Batteriespeichersysteme einen Markt [49]. Daher gilt der folgende Abschnitt verstärkt zur Darstellung der Möglichkeiten und Vorteile von Batteriespeichersystemen für private als auch gewerbliche SL Kunden.

5.4.1. Marktpotential

Beginnend mit den Möglichkeiten für Privatkunden gilt es den generellen Vorteil der Nutzung von bereits gebrauchten Batterien für die Kunden herauszustellen. Wie bereits beschrieben, lassen sich die Investitionskosten mittels eines SL Ansatzes maßgeblich reduzieren. Somit ist eine Verbesserung des Kapitalwertes zu erreichen. Dies lässt wiederum weitere Anschlussinvestitionen attraktiver wirken.

Privatkunden mit einer eigenen Anlage zur Produktion von elektrischer Energie, meist Photovoltaik, können mit einer geeigneten Speicherlösung Kosten sparen. Eine Kilowattstunde Energie wird bei heutigen Anlagen mit Kosten von etwa 10 Cent beziffert [74]. Dies entspricht auch in etwa dem Ertrag für eine Einspeisung in das allgemeine Stromnetz [9]. Dem gegenüber stehen Energiekosten von weit über 30 Cent pro Kilowattstunde, wenn Energie aus dem allgemeinen Stromnetz bezogen wird. Grund für diesen Unterschied ist, dass aus dem Netz bezogene Energie einer Vielzahl von Steuern, Netzentgelten und weiteren Gebühren unterliegt. Eine Reduzierung des Bezugs von Energie aus dem Netz ist folglich sinnvoll. Das Problem ist jedoch, dass insbesondere die Leistung von Photovoltaikanlagen abhängig von Tageszeit und Witterung ist. So ist davon auszugehen, dass ein Elektrofahrzeugbesitzer sein Fahrzeug präferierter Weise in der Nacht zu Hause laden möchte. Dies setzt jedoch eine Speicherung der Energie über den Tag hinaus voraus.

Ein weiterer Aspekt für die Nutzung von Batteriespeichern, sowohl bei Gewerblichen als auch Privatkunden mit einer zunehmend größer werdenden Ladeinfrastruktur, ist die Struktur der Nutzungsentgelte. Privatkunden zahlen meistens eine fixierte Grundgebühr für die Bereitstellung des Netzes, zuzüglich eines Arbeitsentgelts für die verbrauchte Energie. Unternehmen hingegen bezahlen meist nach einem Preismodell mit Lastgangmessung. Dabei werden neben dem Arbeitsentgelt auch Kosten für die maximal benötigte Leistung fällig. Diese ersetzen die pauschale Grundgebühr, wie sie bei Privatkunden üblich ist. Die Ermittlung der

Lastspitzen wird durch gemittelte, meist 15-minütige Intervalle, vom Netzbetreiber gemessen. Ausgehend von der höchsten Lastspitze muss der Kunde dann jeweils einen bestimmten Betrag für die Bereitstellung dieser Last zahlen. Dieser wird dann jährlich anhand der vergangenen höchsten Lastspitze festgesetzt [48].

Somit ist es sinnvoll, diese Lastspitzen zu reduzieren, um die jährlichen Versorgungskosten möglichst gering zu halten. Dazu lassen sich neben einer intelligenten Steuerung der Verbraucher Speichersysteme in die eigene Infrastruktur integrieren, die jeweils zu einer Glättung der Lastaufnahme führen [63].

Im umgekehrten Sinn ergeben sich weitere Geschäftspotentiale durch Speichertechnologien beim Angebot von Regelleistung. Vereinfacht gesagt, können Anbieter ihre Energiespeicher einem Netzbetreiber zur Nutzung anbieten, um das Netz bei Lastschwankungen zu stabilisieren. Hierfür erhält der Speicheranbieter einen Betrag, mit dem er die Investition decken kann. Hierbei unterscheiden sich die angebotenen Energiespeicher im groben zwischen drei Kategorien mit unterschiedlichen Reaktions- und Nutzungszeiten. Insbesondere Batteriespeicher eignen sich dort für die primäre Regelleistung und werden nach einem Ausschreibungsverfahren²² vergütet.

5.4.2. Informationsbedarf

Es ist davon auszugehen, dass Endkunden von Batteriespeicherlösungen aus Traktionsbatterien nicht direkt in der Konzeption und Zusammenstellung von neuen Speichern involviert sein werden. Diese Aufgabe wird voraussichtlich von spezialisierten Herstellern übernommen. Für die Endkunden ist es jedoch wichtig, ihre Investitionsentscheidung abzusichern und eventuelle Defekte, sowie Leistungseinbrüche sicher antizipieren zu können. Die hierfür benötigten Daten entsprechen dem Informationsbedarf der Zulieferer beziehungsweise der Hersteller zur eigenen Abschätzung der Ersatzteilversorgung. Diese können somit ihre Daten an die Hersteller von SL-Konzepten und somit an die SL-Kunden veräußern.

5.4.3. Informationsangebot

Bei SL Kunden lassen sich keine gesonderten Angebote an Informationen erkennen, da sie außerhalb des betrachteten primären Fahrzeugmarktes handeln.

5.5. Demontagebetrieb

Wie bereits in Abschnitt 3.3. Juristische Grundlagen erläutert, ergeht aus der AltfahrzeugG eine Pflicht zur Rücknahme von Altfahrzeugen für Hersteller oder Importeure von Fahrzeugen.

²² www.regelleistung.net

Diese Pflicht kann gemäß Gesetz einem geeigneten Verwertungs- und Demontagebetrieb übertragen beziehungsweise abgegolten werden [12]. Wichtig ist dabei, dass ein Betrieb für eine Demontagetätigkeit gemäß § 5 AltfahrzeugG zertifiziert sein muss. Stand 2017 existieren alleine in Deutschland etwa 1200 anerkannte Demontagebetriebe, die ein dichtes Netz von Entsorgungsmöglichkeiten bilden [45].

5.5.1. Marktpotential

Vor einer genaueren Betrachtung des Potentials durch eine Nutzung von Informationen entlang des Lebenszyklus von Traktionsbatterien und Leistungselektronik ist es wichtig anzumerken, dass sich die Arbeitsweise von Demontagebetrieben grundlegend ändern wird. Bisherige Anforderungen an die Qualifikation der Betriebe und dort tätigen Mitarbeitern sind tendenziell nicht all zu hoch. Nach einer Entnahme von Betriebsflüssigkeiten und dem Ausbau von Teilen, die einer weiteren Nutzung zugeführt werden können, werden Fahrzeuge meist in einem Stück mittels eines von etwa zwei Dutzend Autoshreddern in Deutschland zerkleinert [45]. Die gezielte Entnahme von Elektronik erfolgt derzeit nicht, da ein Gewicht von etwa 10 kg noch keinen großen Anreiz für einen weiteren Arbeitsschritt bei der Demontage bietet [87].

Mit Aufkommen von Hochvoltsystemen in Fahrzeugen steigt das direkte Gefahrenpotential für die Mitarbeiter in allen Prozessschritten entlang der Verwertung. Eine Demontage von Traktionsbatterien sollte nur von geschulten Personen unter großer Vorsicht durchgeführt werden. Aufgrund der noch geringen Rücklaufmengen und sicherheitstechnischen Herausforderungen werden derzeit fast alle Elektrofahrzeuge nach Ende ihrer Nutzung zurück zu den ursprünglichen OEMs verbracht. Diese demontieren dann die Traktionsbatterien fachmännisch und führen die restlichen Komponenten einer weiteren Verwertung zu [92]. Ob die Hersteller diese Aufgabe als neue Akteure auf dem Demontagemarkt mit einem geeigneten Netz an Standorten übernehmen werden, ist insbesondere bei höher werdenden Rücklaufmengen, fraglich. Derzeitige Bemühungen, wie durch Volkswagen am Standort Salzgitter²³, dienen bisher vorrangig zur Erprobung. Diese werden sicherlich in den nächsten Jahren zu einer wegweisenden Entscheidung führen. Auf jeden Fall müssen Demontagebetriebe geschult und Lösungen zur sicheren Demontage gefunden werden.

Bedingt durch höhere Sicherheitsanforderungen wird auch der Aufwand und somit die Kosten für eine Demontage ansteigen [28]. Nach einer von Volkswagen in Auftrag gegebenen Studie wurden 58 Fahrzeugmodelle von 22 Herstellern nach der Ausbaubarkeit der Leistungselektronik untersucht. Im Ergebnis zeigte sich eine mittlere Demontagezeit von etwa

²³ www.auto-motor-und-sport.de/news/vw-salzgitter-pilotanlage-batterie-racycling-elektroauto/

15 Minuten, was je nach Entlohnung der Mitarbeiter mit geschätzten 7,50 € zu Buche schlägt [87]. Rechnet man die Kosten für Transport, Aufbereitung und spätere Vermarktung eventueller Rohstoffe hinzu, ergibt sich ein bemerkenswerter Betrag, der nur schwer durch die reinen Materialerträge gedeckt werden kann. Es ist notwendig, möglichst effizient Kosten zu reduzieren. Dazu bietet sich eine Automatisierung beziehungsweise generell recyclinggerechte Produktgestaltung als Lösungsansatz an [56]. Anzubieten sind schnell und transparent alle benötigten Informationen zur Demontage, damit die Akteure ihre Prozesse dementsprechend individuell anpassen können.

Zu diesen Informationen sollten etwaige Gehalte der einzelnen Bauteile gehören, damit der Demontagebetrieb sortenreinere Fraktionen sammeln und diese zu einem besseren Preis veräußern kann.

Bereits heute bieten Demontagebetriebe eigene Verkaufsmöglichkeiten für Ersatzteile. Durch den Demonteur werden diese in Stand gesetzt oder auch ohne weitere Aufbereitung direkt an den Privatkunden verkauft [6]. Wie bereits im Kapitel über die Potentiale der Zulieferer erläutert, ergeben sich mit relativ verschleißfesten elektronischen Bauteilen neue Möglichkeiten für eine Wiederverwendung. So könnte der Demontagebetrieb die Leistungselektronik direkt an andere Unternehmen veräußern, oder wie bereits bestehende eine Möglichkeit für Privatpersonen bieten dort Ersatzteile günstig zu kaufen. Die Preisgestaltung einzelner Teile kann sich dabei an Marktbedarfen orientieren, die durch eine Information über Ersatzteilbedarfe und erwartete Rücklaufmengen einzelner Fahrzeuge und deren Bestandteile ermittelt werden können.

Es wäre auch denkbar, dass Demontagebetriebe sich auf die Aufbereitung dieser Bauteile spezialisieren, da sie bereits aufgrund der Sicherheitsanforderungen eine höhere Bindung zu den OEMs oder Zulieferern entwickeln werden. Noch gibt es in diesem Zusammenhang keine Ansätze in Deutschland. Aus Sicht des Autors macht es Sinn, Demontagebetriebe enger an die produzierenden Fahrzeugunternehmen zu binden. Nur so kann die fachgerechte Demontage einer Vielzahl von Fahrzeugvarianten durch geschultes Personal sichergestellt werden.

Ein komplett neues Geschäftsfeld ergibt sich für den Demonteur im Kontext der Sammlung von Zustandsdaten der einzelnen Fahrzeugkomponenten. Über die Lebenszeit des Fahrzeugs gesammelte Daten geben Auskunft über das Nutzungsprofil, jedoch nicht über eventuellen Verschleiß oder andere Qualitätsmerkmale der Komponenten. Es wäre denkbar, dass ein Demontagebetrieb Auffälligkeiten mit den Daten des Fahrzeugs koppelt und diese an andere Akteure veräußert.

5.5.2. Informationsangebot

Wie bereits beschrieben, können Demontagebetriebe besonders Daten über den Zustand der Bauteile oder ganzer Fahrzeuge anbieten. Diese können dann mit anderen Daten verknüpft werden. Sie bieten somit ein umfangreiches Bild über Qualitätsentwicklung und möglicher Verbesserungspotentiale der Konstruktion.

5.5.3. Informationsbedarf

Wichtig wäre es für den Betrieb, Informationen zur Demontage jedes Fahrzeugs zu erhalten und den Status der Komponenten über eine Schnittstelle zu erfahren. So könnte der Demonteur noch vor der ersten Berührung mit dem Fahrzeug feststellen, ob ein kritischer Schaden einzelner Komponenten vorliegt. Er kann seinen Demontageprozess dem Befund entsprechend anpassen. Zusätzlich kann der Demonteur bereits an dieser Stelle zu einer besseren Sortierung von Wertstoffen beitragen. Es wäre denkbar, dass ein Informationssystem relevante Gehalte an bestimmten Rohstoffen in Bauteilen anzeigt und der Demonteur in die passende Fraktion überführt. Damit lassen sich wie bereits erwähnt gegebenenfalls höhere Recyclingquoten einzelner Rohstoffe und somit auch ein höherer Verkaufspreis der Fraktionen erzielen [87].

Daneben bedürfen die Betriebe Informationen zur Wiederaufbereitung durch Reparatur einzelner Komponenten. Es müssen Schnittstellen zu Zulieferern geben, um einzelne Bestandteile neu zu bestellen beziehungsweise anderweitig zu reparieren. Vor allem besteht ein Bedarf an neuer Software für die einzelnen Recheneinheiten, um auch in aktuelleren Fahrzeugen genutzt zu werden oder gegebenenfalls in einem anderen Anwendungsfall nutzbar zu werden.

Bezüglich einer dynamischen Preisgestaltung von Ersatzteilen benötigen die Demontagebetriebe Informationen über zu erwartende Nachfragen an Ersatzteilen einer bestimmten Ausführung beziehungsweise Informationen über geschätzte Rücklaufmengen von Fahrzeugen und deren Bestandteilen. Diese Daten ermöglichen außerdem eine Abschätzung des Bedarfs an Bauteilen und verhindern somit eine Lagerhaltung von zu großen Mengen, die ansonsten einer anderweitigen Verwertung zugeführt werden können.

5.6. Rohstoffproduzent

Bei den Rohstoffproduzenten handelt es sich um die Akteure, deren Aufgabe es ist, die nicht weiter verwendbaren Bauteilen einer geeigneten Verwertung zuzuführen. Sie versorgen mittels primärer Rohstoffe die Zulieferer mit benötigten Materialien. Dabei ergeben sich je nach Material unterschiedlichste Herausforderungen, deren Lösung neue und kreative Ansätze

braucht. Der folgende Abschnitt konzentriert sich zunächst auf die Verwertung von Traktionsbatterien und Leistungselektronik.

5.6.1. Marktpotential

Damit Abfallströme effizient und für eine geeignete Aufbereitung passend gesammelt werden können, ist es wichtig, die Eingangsstoffe sicher und einfach identifizieren zu können. Je nach Verbindungstyp der unterschiedlichen Lithiummetallverbindungen oder der Zusammensetzung des Kathodenmaterials müssen unterschiedlichste Aufbereitungsverfahren eingesetzt werden, um ein gutes Aufbereitungsergebnis zu erzielen. So gibt es Ansätze hybrider Lithiumgewinnung aus primären Rohstoffen (Zinnwalditkonzentrat) und sekundären Rohstoffen. Diese haben den Vorteil, dass sich das gesamte Recycling und Primärgewinnungsrouten in einem Prozess abbilden lässt [5, 4]. Dazu ist jedoch ein hoher Informationsgrad über die jeweilige stoffliche Zusammensetzung der einzelnen Komponenten notwendig.

Liegen einer Anlieferung keine gesonderten Unterlagen, die eine Klassifizierung möglich machen, bei, dann ist der Verwerter gezwungen, eigene stoffliche Analysen durchzuführen oder einen ungünstigeren Verfahrensablauf zu wählen [87]. Eine einheitliche Kennzeichnung bei Lithiumbatterien gibt es derzeit noch nicht. Der Gesetzgeber verpflichtet die Hersteller lediglich zur Kennzeichnung von Schwermetallgehalten wie beispielsweise Blei oder Cadmium mittels einer durchkreuzten Abfalltonne auf dem Batteriekörper. Ansätze zur erweiterten Kennzeichnung von Lithiumbatterien bestehen, bieten aber nach derzeitigen Stand keine erweiterten Informationen über die genauere Zusammensetzung der Zellchemie [43]. Angesichts der hohen Varianz an Batteriebauweisen ist eine einheitliche Kennzeichnung auch in Zukunft eher unwahrscheinlich. Die Möglichkeit, eine einzelne Batterie während des gesamten Lebenszyklus zu verfolgen und somit später beim Verwerter zu identifizieren, würde eine Lösung des Problems bieten.

Neben Traktionsbatterien wäre eine genauere Identifizierung der Zusammensetzung der Leistungselektronik eine weitere Möglichkeit zur besseren Verwertung von Abfallströmen. Bisher werden beim konventionellen Fahrzeugrecycling alle Komponenten eines Fahrzeugs gemeinsam geschreddert und anschließend mittels unterschiedlichster Verfahren in die einzelnen Fraktionen sortiert [87]. Dabei reichern sich insbesondere Edelmetalle über alle Fraktionen hinweg in den jeweiligen Feinanteilen an. Aus denen sind sie nur mit viel Aufwand rückgewinnbar [93]. Ausgehend davon, dass der Demontagebetrieb bei der Zerlegung des Fahrzeugs bereits eine Vorsortierung der Abfallströme vornimmt, kann der Verwerter die gut

implementierte Verwertungsroutinen für Elektroaltgeräte nutzen. Dies führt zu einer besseren Rückgewinnungsquote von Edelmetallen, sowie Kupfer und Aluminium. Unedlere Metalle wie zum Beispiel Tantal, Germanium oder Gallium, deren Konzentration bereits in den Bauteilen sehr gering ist, gelangen jedoch meist in die Schlacke oder Flugstaub [95]. Um dennoch eine Rückgewinnung sicherzustellen, ist es notwendig, Komponenten gezielt nach hohen Materialkonzentrationen auszusortieren. Dies erfordert wiederum erneut tiefergehende Informationen über die genaue Zusammensetzung der Bauteile.

5.6.2. Informationsbedarf

Wie bereits im vorhergehenden Abschnitt beschrieben, benötigen die Verwerter hauptsächlich Informationen zu den stofflichen Zusammensetzungen der jeweils eingesetzten Materialien. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Aufgabe der primären Sortierung in die einzelnen Fraktionen vorrangig bei der Demontage der Fahrzeuge stattfinden wird. Folglich reduziert sich der Informationsaustausch lediglich zwischen den Demontagebetrieben und den jeweiligen Verwertern.

5.6.3. Informationsangebot

Für den Rohstoffproduzenten können keine weiteren Informationsangebote identifiziert werden, die einen Mehrwert für einen Akteurs übergreifenden Marktplatz erbringen.

5.7. Konfliktstellen

Bei der Betrachtung einer großen Zahl von Akteuren mit jeweils unterschiedlichen Interessen und Geschäftsstrukturen bleiben Konflikt- und Sicherheitsprobleme nicht aus. Hersteller von Fahrzeugen und ihre Zulieferer sichern sich bei jeder kleinsten Kooperation mittels Geheimhaltungsverträgen gegen Informationslecks ab. Ein wie auch immer geartetes Informationssystem muss in der Lage sein, Vertrauen zwischen den Akteuren zu schaffen. Hierzu dient eine frühe Sensibilisierung für das Thema. Nachfolgender Abschnitt skizziert die bisher denkbaren Konfliktszenarien.

Generell ist es für alle Akteure wichtig, ihre Betriebsgeheimnisse unter Verschluss zu halten. Dies ist sowohl horizontal als auch vertikal von äußerst hoher Bedeutung. So dürfen Informationen über Bauart oder gar spezielle Fertigungsverfahren nicht an konkurrierende Betriebe weitergegeben werden. Ebenfalls bieten Informationen über genaue Inhalte bestimmter Bauteile Angriffspunkte um die Preise gegenüber den Lieferanten zu drücken. Eine Veröffentlichung von gesammelten Informationen über defekte Bauteile dürfte darüber hinaus nur in positiven Fällen ein Interesse der Hersteller sein, da bereits jetzt die Kaufentscheidung für ein Produkt stark von der Fehleranfälligkeit geprägt ist.

Bezüglich der Auswertung und Weitergabe von Fahrzeugdaten, die während der Nutzung des Fahrzeuges gesammelt werden, bieten sich eine hohe Zahl von Problemen bezüglich des Datenschutzes. Diese Problematik wurde bereits in Abschnitt 3.3. Juristische Grundlagengenaue betrachtet. Die erstellten Profile dürfen nicht außerhalb des vorgesehenen Verwendungszweckes genutzt und weitergegeben werden. Bei einer Vielzahl von Akteuren könnte dieses in einer späteren Umsetzung schwierig zu kontrollieren sein. Die Abbildung 10 Potentielle Konfliktstellen gibt einen Überblick erwarteter Konfliktstellen.

Potentielle Konfliktstellen ²⁴						
	Zulieferer	OEM	Fhz. Kunde	SL Kunde	Demontage	Verwerter
Zulieferer	Kritisch	Kritisch	Geringer	Geringer	Geringer	Unkritisch
OEM	Kritisch	Kritisch	Geringer	Geringer	Unkritisch	Unkritisch
Fhz. Kunde	Geringer	Geringer	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch
SL Kunde	Geringer	Geringer	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch
Demontage	Geringer	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Geringer
Verwerter	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Unkritisch	Geringer	Unkritisch

Abbildung 10 Potentielle Konfliktstellen

„Kritisch“ ist dabei als besonders wichtig zu betrachten, da dort sensible und vertrauenswürdige Daten nur gesonderten Akteuren vorliegen dürfen. „Geringer“ bezeichnet Konfliktstellen mit geringerer Relevanz und bei „Unkritisch“ handelt es sich um Verhältnisse ohne besondere Relevanz.

6. Lösungskonzepte

Die nun folgenden Abschnitte beleuchten unterschiedliche Lösungsansätze, um Informationen entlang des Lebenszyklus von Fahrzeugen auszutauschen. Dabei lässt sich bereits vor der genauen Betrachtung festhalten, dass eine Insellösung bei solch einem komplexen System nicht zielführend sein wird. Vielmehr müssen unterschiedliche Konzepte jeweils miteinander kombiniert werden.

6.1. Elektronische Wissensmärkte

Bei einem elektronischen Wissensmarkt handelt es sich um eine elektronische Plattform in der unterschiedlichste Akteure mittels eines marktmäßigen Tauschs von Gütern und Leistungen interagieren können [16, 60]. Abzugrenzen ist dabei zwischen Informations-/Datenmärkte und

²⁴ Eigene Darstellung

reinen Wissensmärkten über die jeweilige Definition der einzelnen Begrifflichkeiten. Daten sind demnach mittels einer Syntax geordnete Zeichen, die wiederum mittels einer Semantik zu Informationen werden. Informationen bieten somit die Möglichkeit, Probleme zu identifizieren. Wohingegen Daten die Grundlage für eine Messung, Ordnung oder Strukturierung bieten. Wissen entsteht, wenn die Komponente der Erfahrung, Fachkenntnisse oder beispielsweise Normen eine Information hinzugefügt wird [35]. Bei den in dieser Arbeit betrachteten Themen handelt es um Daten (Temperaturverläufe oder Leistungsverläufe Batterie) und Informationen (Verknüpfung Temperaturverläufe mit Leistungsverlauf). Dies bedeutet, dass Anbieter über eine Plattform ihre Produkte und Dienstleistungen anbieten können und die Kunden diese über diese Plattform kaufen können. Der Marktplatzbetreiber muss das Ziel haben, einen schnelleren und kostengünstigeren Matchingprozess als konventionelle Marktplätze mit realen Handelsvermittlern anzubieten. Dies ist insbesondere der Fall, wenn eine Marktübersicht aufgrund eines großen und stark fragmentierten Angebots nur schwierig zu realisieren ist. Dabei bieten sich eine Vielzahl von unterschiedlichen Gestaltungsarten von Marktplätzen an, die passend für die Anforderungen an ein Recycling Informationsmarktplatzes kurz erläutert werden.

Zu unterscheiden ist zwischen einem zentralen elektronischen Markt und einem dezentralen elektronischen Markt. Bei ersterem werden die Preise direkt durch passende Mechanismen zentral gebildet. Die zentrale Markteinheit übernimmt die Steuerungsfunktion für die Bereitstellung gehandelten Güter. Allen Akteuren eines Marktes stehen dabei diese Preisinformationen zur Verfügung. Bei einem dezentralen elektronischen Markt interagieren die einzelnen Akteure direkt miteinander. Diese müssen jeweils den Preis mit ihrem Handelspartner verhandeln und vereinbaren die jeweilige Bereitstellung des Gutes individuell [16].

Darstellung zentraler elektronischer Markt und dezentraler elektronischer Markt [16]

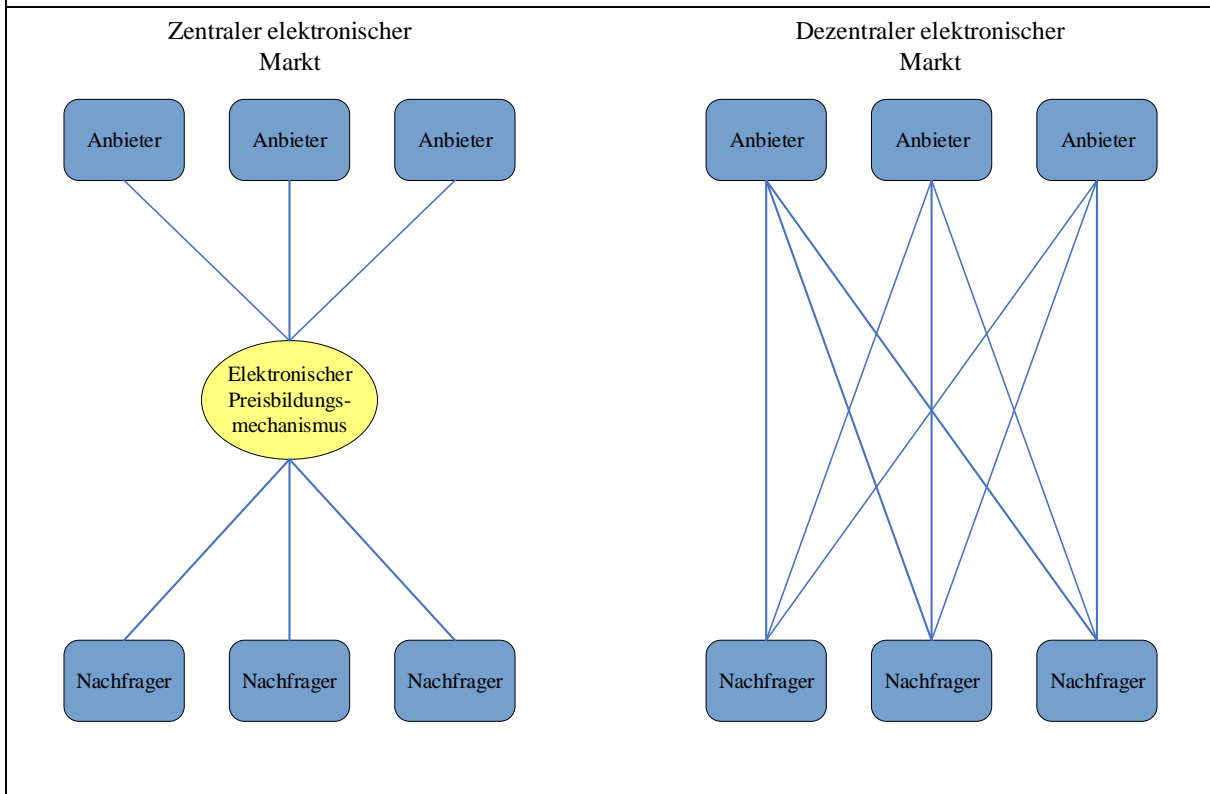


Abbildung 11 Darstellung zentraler und dezentraler elektronischer Markt

Erfahrungen des E-Commerce zeigen, dass ein dezentraler Markt hohe Transaktionskosten verursacht und negative Auswirkungen auf die Transaktionsgeschwindigkeit hat. Für einen Informationsmarkt, in dem alle Akteure entlang eines Lebenszyklus von Traktionsbatterien und Leistungselektronik interagieren sollen, bietet sich somit das Modell eines zentral gesteuerten Marktes an.

Es sei an dieser Stelle auch der große Unterschied zwischen E-Commerce und dem in dieser Arbeit untersuchten Markt herausgestellt. Ein klassischer E-Commerce Markt handelt Güter, deren Qualität ein Marktteilnehmer bereits vor Kauf beurteilen kann, ohne dass der Verkäufer dabei einen Nachteil erleidet [26]. Bei einem reinen Informations-/Datenmarkt hingegen besteht das Gut aus den jeweiligen Informationen und Daten. Die Bewertung der Qualität stellt sich für einen potentiellen Käufer als äußerst schwierig dar. Dies liegt an dem Einkommensverlust, die ein Verkäufer erleiden muss, wenn er bereits vor einer Transaktion seine Daten weitergibt. Gleichzeitig kann der Käufer einen Nachteil erleiden, wenn über die Art der angefragten Daten andere Akteure Rückschlüsse auf seine Marktposition erhalten können [58].

Eine weitere Differenzierung zwischen unterschiedlichen Konzepten von elektronischen Märkten lässt sich in der Ausrichtung der Märkte finden. Horizontale Märkte haben einen Fokus

auf einzelne Produktgruppen. So kann sich ein Markt lediglich auf den Handel von Stockfotos²⁵ konzentrieren. Dieser Markt jedoch ist offen für Nutzer unterschiedlicher Branchen. Die Leistung geht somit eher in die Breite [16].

Bei einem vertikalen Markt agiert nur eine bestimmte Gruppe von Akteuren miteinander entlang Leistungen, die auf die Gruppe zugeschnitten sind. Ziel ist es, Lösungen für spezifische Probleme zu finden und diese kosteneffizient zu lösen. Ein solcher Markt ist dabei von anderen Akteuren, die nicht einer bestimmten Nutzergruppe angehören, abgekapselt. Er benötigt daher technische Mittel, um eine Zugangsbeschränkung zu ermöglichen. Dies erfolgt meist durch eine vorherige Registrierung und Vergabe von ID-Nummern an die Akteure oder durch eine technische Hürde mittels spezieller Schnittstellentechnologie [16].

Angesichts der speziellen Leistung eines in dieser Arbeit behandelten Informationsmarktes, ist eine vertikale Ausrichtung des Marktes anzunehmen. Nicht jeder Nutzer, zum Beispiel Fahrzeugkunden, sollen und dürfen alle gehandelten Informationen kaufen.

Die handelbaren Güter, sprich Daten, für einen elektronischen Marktplatz werden von den einzelnen Akteuren bereitgestellt. Die Informationsstruktur entlang des Lebenszyklus von Traktionsbatterien und Leistungselektronik ist aufgrund der vielen unterschiedlichen Akteure mit unterschiedlichen Anforderungen an die Daten sehr komplex. Die technische Implementierung von Schnittstellen wird folglich äußerst komplex. Die folgenden Abschnitte erläutern unterschiedliche technische Lösungen für die Anwendung in einem solchen System.

6.2. Zentrale Datenbank

Bei einer Datenbank handelt es sich um ein System zur elektronischen Speicherung von großen Datenmengen. Dabei lassen sich die folgenden Hauptfunktionen identifizieren [36]:

1. Integration; beinhaltet eine einheitliche Verwaltung und Bereitstellung der benötigten Daten
2. Operation; die Möglichkeit innerhalb der Datenbank Suchanfragen oder Änderungen des Datenbestandes durchzuführen
3. Katalog; die Bereitstellung einer Art Verzeichnisses um Zugriffe auf Datenbeschreibungen zu erhalten
4. Benutzersichten; für unterschiedliche Anwendergruppen jeweils individuelle Sichten auf den Datenbestand bereitzustellen

²⁵ Ein Bereich der Fotografie, bei dem Bilder ohne direkten Auftrag produziert werden. Die Bilder werden gelagert.

5. Konsistenzüberwachung; übernimmt die Gewährleistung der Korrektheit der Datenbankinhalte
6. Zugriffskontrolle; schützt die Datenbank vor unautorisierten Zugriffen und bietet Schutz vor Werksspionage
7. Transaktionen; sind die Zusammenfassung von Datenbankänderungen
8. Synchronisation; die korrekte Speicherung von Transaktionen konkurrierender Benutzer, um Schreibkonflikte auf gemeinsam benutzte Daten zu verhindern
9. Datensicherung; die Sicherung und gegebenenfalls Wiederherstellung von Daten nach einem Systemfehler

Eine Sicherstellung der korrekten Ausführung dieser Funktionen ist mit einem hohen Aufwand und damit verbundenen Kosten verbunden. Darüber hinaus obliegt die Steuerung und Kontrolle einer Datenbank einem Mittler, der wiederum ein hohes Vertrauen gegenüber anderen Akteuren genießen muss, um seine Aufgaben erfüllen zu können. Wenn dieser Mittler ein hohes Vertrauen besitzt und die Hauptfunktionen ausführen kann, dann bietet eine Datenbank ein hohes Maß an Sicherheit. Im Kontrast zu einer auf Blockchain basierenden Lösung werden Transaktionen nicht für jeden Akteur sichtbar hinterlegt. Das verhindert somit Rückschlüsse [38, 75]. Damit eignen sich Datenbanken im Kontext des in dieser Arbeit behandelten Themas insbesondere für die Weitergabe von weniger dynamischen Informationen. Bei diesen kann es sich um Anleitungen für eine fachgerechte Demontage oder die stoffliche Zusammensetzung einzelner Bauteile handeln. Beide können in einer Datenbank hinterlegt und von autorisierten Akteuren eingesehen werden. Ein Beispiel für eine bereits bestehende Datenbank mit für den Lebenszyklus von Traktionsbatterien und Leistungselektronik relevanten Daten stellt das „Internationale Materialdatensystem“ (IMDS) dar²⁶. Dabei handelt es sich um ein standardisiertes Verwaltungssystem für Materialdaten aus der Autoindustrie. Dem angeschlossen sind 35 Autohersteller und etwas 120.000 Lieferanten der Automobilindustrie. Die Materialdaten enthalten Informationen über die werkstoffliche und chemische Zusammensetzung einzelner Bauteile und deren jeweiligen Halbzeuge. Das IMDS ist damit Grundlage für unterschiedlichste Nachweise von gesetzlicher Konformität insbesondere im Rahmen der EU-Typgenehmigung²⁷ eine Grundlage der Berechnung der Recyclingquote.

²⁶ <https://www.mdsystem.com/imdsnt/startpage/index.jsp>

²⁷ EU-Typgenehmigung ist die Grundlage für die europaweite Zertifizierung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeugteilen

Diese Datenbank könnte ebenfalls verwendet werden, um dem Demonteur Bauteile mit besonders hohen stofflichen Konzentrationen eines bestimmten Rohstoffs aufzuzeigen.

6.3. Blockchain

In den letzten Jahren entwickelte sich die Technologie der Blockchain von einem Nischenthema in das Zentrum zukünftiger Wirtschaftsgestaltung. Bisweilen wird die Begrifflichkeit der Blockchain mit unterschiedlichsten digitalen Währungen gleichgestellt. Dies liegt in der Geschichte der Blockchain, die als Ansatz zur Implementierung einer direkten Zahlungsmöglichkeit im Jahr 2008 entwickelt wurde. Hier bildet die Blockchain nur den Unterbau für eine solche Währung und kann für eine andere Art der Applikation genutzt werden [38, 75].

Bei einer Blockchain handelt es sich, um eine erweiterbare Liste von Datensätzen (Blocks), die ein zentrales Buchungssystem (Ledger) ersetzt. Basis ist ein Ursprungsblock mit einer ersten Transaktion. Eine folgende Transaktion baut wiederum auf einer früheren Transaktion auf. Deren Richtigkeit wird von anderen Akteuren (Miner) im dazugehörigem Peer-to-Peer Netzwerk über bestimmte Rechenoperationen verifiziert. Da die Kette jeweils auf einen vorherigen Block aufbaut und jeder in dem Netzwerk jeweils eine Kopie der aktuellen Blockchain besitzt, ist eine spätere Manipulation der Transaktionen defacto ausgeschlossen. Die Blockchain ist dabei universell bezüglich der Art von Information, die sie enthält. Gleichzeitig reduziert eine Blockchain die Kosten für eine Transaktion, da eine Verifikation nicht eine zentrale und komplexe Infrastruktur benötigt [75]. Dies ermöglicht eine eindeutige und fälschungssichere Identifikation von Bauteilen, insbesondere von Traktionsbatterien.

Ein derzeit stark fokussiertes Thema ist die aufkommende Verbreitung von vernetzten Produkten im Zusammenhang des „Internet der Dinge“. Dabei sollen Geräte miteinander direkt kommunizieren und nicht weniger als eine neue vierte industrielle Revolution hervorrufen²⁸. Problematisch ist die Sicherstellung der Interoperabilität über mehrere Produktgenerationen und fast unendlicher Produktgruppen. Die Architektur für den Austausch von Daten kann und wird sich im Allgemeinen über einen Zeitraum ändern. Eine Anbindung von älteren Produkten kann schwieriger und teurer werden [89]. Nicht zu unterschätzen sind des Weiteren die hohen Kosten bei der Nutzung der Produkte über einen langen Zeitraum. Diese werden durch zentrale Datenbanken, die den Geräten zur Speicherung von Objektdaten dienen, hervorgerufen [96]. Der Hersteller muss, um die Funktionstüchtigkeit seines Produktes sicherzustellen, auch für

²⁸ <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/industrie-40.html>

wenige Anwender alle Angebote beibehalten. Das führt im kleineren Nutzerkreis zu höheren Individualkosten [67]. Hier wäre eine Cloud mittels Blockchain eine Lösung.

Eine weitere Art der Nutzung der Blockchain Technologie ist die Implementierung von sogenannten Smart Contracts. Bei ihnen handelt es sich um Verträge, die zwischen den Parteien mittels eines geeigneten Programmcodes vereinbart werden. Wenn eine definierte Bedingung erfüllt wird, führt der Vertrag sich selbst aus und verfolgt automatisch die Vereinbarung. Dieser Code kann dann wiederum in einer Blockchain abgelegt werden, womit ein hoher Grad an Sicherheit erreicht wird. Erneut werden in Kontrast zu bisherigen Verträgen weitere Marktakteure als Mittler gespart, eine erhöhte Geschwindigkeit und damit Kostensenkung kann erreicht werden [78]. Beispielsweise wird ein Hauskauf mittels eines Notars durchgeführt, der den Transaktionsprozess ab der Vertragsausgestaltung bis hin zur Zahlung und Übergabe begleitet und beglaubigt. Dies führt zu Kosten, die mittels eines sich selbst ausführenden Vertrages eingespart werden können.

Bei der Nutzung von Smart Contracts in einer Blockchain, die zum Beispiel auf der Ethereum-Technologie²⁹ basiert, gibt es jedoch bisweilen den Nachteil, dass jedes Node den Inhalt des Vertrages einsehen kann. Ähnlich wie bei der Bitcoin-Technologie basiert das Vertrauen der Akteure auf das gegenseitige Verifizieren vorheriger Transaktionen [75]. Um jedoch automatisierte Verträge in der Praxis zu realisieren, ist es wichtig, den Inhalt und bestenfalls die Vertragspartner geheim zu halten. Dies führt zur Entwicklung von sogenannten „Secret Contracts“. Dabei werden die Inhalte von Verträgen oder Transaktionen vollständig vor anderen Nodes geheim gehalten, was neben Sicherheit auch Geheimhaltung verspricht. Eine bisher in der Entwicklung stehende Technologie ist dabei Enigma³⁰. Grundlegendes Problem bei Secret Contracts ist die Frage, wie Nodes den Inhalt der Contracts und die Transaktion selbst verifizieren können, ohne den Inhalt genau zu kennen. Dies ist derzeitiges Entwicklungsthema der Enigma-Technologie [98].

Mit Hilfe der beschriebenen Techniken lassen sich die Bereitstellung eines Vertragswerkes und eine Möglichkeit zur Zahlungsabwicklung ohne einen Zwischenakteur realisieren. Für einen Marktplatz fehlt nun noch ein Transfer der Güter vom Verkäufer zum Käufer. Auch an dieser Stelle lassen sich die Techniken einer Blockchain für eine dezentrale Datenspeicherung nutzen. Bereits heute gibt es neben klassischen Speicheraanbietern auch Anbieter, die basierend auf

²⁹ Ein dezentrales System, welches das Ausführen von dezentralen Programmen beziehungsweise Smart Contracts in einer eigenständigen Blockchain erlaubt.

³⁰ <https://blog.enigma.co/defining-secret-contracts>

Blockchain-Technologie, Speichermöglichkeiten bieten³¹. Diese zeichnen sich besonders durch einen hohen Grad an Sicherheit aus. Durch das Verteilen von Datenblöcken auf einer hohen Zahl von Nodes wird eine hohe Ausfallsicherheit, auch bei DDoS-Attacken³², erreicht.

Neben einer vollständigen Speicherlösung mittels Blockchain bietet sie eine gute Möglichkeit zur automatischen Rechtevergabe an. So könnte ein Akteur nach der Zahlung des vereinbarten Betrages mittels Blockchain einen Zugang für den Abruf von Daten aus einer Datenbank erhalten. Dieser Zugang könnte nach Nutzung wiederum automatisch an Gültigkeit verlieren.

6.4. RFID und 2D Tags

Um einem Objekt einen Datensatz zuzuordnen, ist es unabdingbar, eine Kennzeichnung von Objekten einzuführen. Vor allem die Erfassung von Logistikströmen erfordert eine standardisierte Kennzeichnung, um die Fehleranfälligkeit und damit verbundene Kosten zu reduzieren. Bei kleinen Systemen mit wenigen Objekten ist beispielsweise eine reine Kennzeichnung mittels Dezimalzahlen bis zu einer bestimmten Länge durchführbar. Doch dieses ist sehr fehleranfällig. Es genügt bereits eine inkorrekte Zahl in einer Reihe, um die Identifikation unmöglich zu machen. Des Weiteren ist eine automatisierte Auslesung von Dezimalzahlen aufwendiger zu gestalten als andere Lösungen. Weithin bekannt ist dafür der gewöhnliche Barcode.

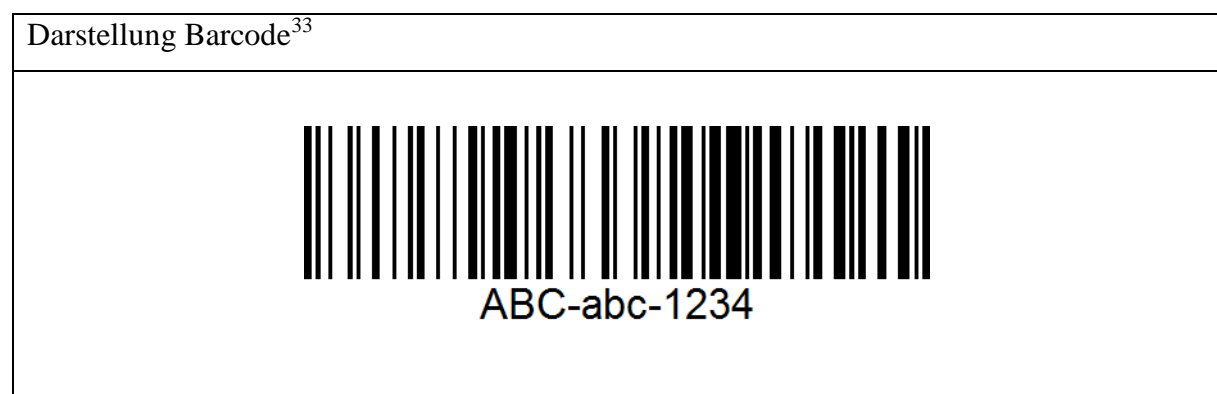


Abbildung 12 Darstellung Barcode

Über die Jahre haben sich für unterschiedlichste Anwendungen eigenständige Codierungsmöglichkeiten ausgebildet. Die wohl bekanntesten sind dabei die des Warenhandels, wie sie auf jedem Supermarktprodukt zu sehen sind. Vorteil des Barcodes ist die automatisierte Auslesbarkeit mittels eines Scanners und die einfache Erstellung mittels

³¹ www.swarm-gateways.net

³² DDoS – Distributed Denial of Service, die Nichtverfügbarkeit eines Dienstes durch eine Überlastung des Servers. Dies wird meist durch eine hohe Anzahl von Anfragen erreicht.

³³ Eigene

eines einfachen Druckers. Nachteilig ist jedoch erneut die hohe Fehleranfälligkeit und die relativ geringe Speicherfähigkeit des Systems³⁴.

Eine Weiterentwicklung stellt der sogenannte „Quick Response Code“ (QR-Code) dar³⁵. Bei ihm handelt es sich um einen zweidimensionalen, binären Code, der ebenfalls auf Objekte gedruckt werden kann. Dessen Auslesung ist mittels automatischer Scanner möglich. Der große Vorteil gegenüber den bisher genannten Verfahren besteht vornehmlich in der Redundanz der Informationen. Die Information auf einem QR-Code kann sogar bei einem Verlust von bis zu 30 % des originalen Codes gelesen werden. Auf Grund dessen sowie der erhöhten Speicherfähigkeit von bis zu 4.000 Zeichen eignet sich der QR-Code sehr für die Identifikation von Objekten und Weitergabe von Informationen.

Darstellung QR-Code³⁶



Abbildung 13 Darstellung QR-Code

Alle drei Techniken eint, dass sie lediglich statische Informationen beinhalten. Dies ist für die reine Weitergabe einer Seriennummer oder bestimmter Gehalte an Rohstoffen in Bauteilen ausreichend, da sich diese Informationen nicht ändern werden oder dürfen. Bei der Speicherung von dynamischen Informationen müssen jedoch andere Techniken eingesetzt werden.

Eine Option für einen wiederbeschreibbaren Speicher ist die Technologie der „radio-frequency identification“ (RFID). Dabei handelt es sich um ein berührungsloses Sender-Empfänger-System, das einen automatischen Datenaustausch ermöglicht. Stark verbreitet sind dabei passive Transponder, die keine eigene Energieversorgung besitzen. Sie übertragen ihre Daten mittels einer induzierten Spannung. Vorteil dieser Technologie ist, neben der

³⁴ https://www.gs1-germany.de/fileadmin/gs1/basis_informationen/stichcodequalitaet.pdf

³⁵ <https://www.qrcode.com/en/>

³⁶ Eigene

Wiederbeschreibbarkeit, die große Speichermöglichkeit von bis zu mehreren kByte und eine Auslesbarkeit ohne exakte Ausrichtung des Lesegerätes [2]. Nachteilig bei RFID Systemen ist jedoch der relativ hohe Preis und Ressourcenverbrauch (Silber) bei komplexeren RFID Tags³⁷.

Ein RFID Speicher könnte bei Traktionsbatterien für eine Protokollierung relevanter SOH Informationen genutzt werden. Dies hätte gegenüber einer Datenbanklösung den Vorteil, dass die Informationen auch ohne Anbindung an eine Netzwerkstruktur auslesbar wären. Ein weiteres Anwendungsfeld lässt sich in der Implementierung von Blockchaintechnologien sehen. Die Batterien könnten als Akteure entlang einer Blockchain agieren und ihre Informationen in einer dezentralen Cloud speichern. Dies würde eine hohe Sicherheit der Informationen bei geringeren Kosten für eine geeignete Datenbankstruktur hervorrufen, zumal solch eine Cloud herstellerübergreifend ohne einen zentralen Akteur zu realisieren wäre.

6.5. Realtimemonitoring

Mit zunehmendem Interesse unterschiedlicher Akteure an Fahrzeugdaten und Nutzungsprofilen gilt es Techniken zu entwickeln, die eine Auslesung auch während des Betriebes ermöglichen. Eine alleinige Auslesung von Fahrzeugdaten bei Inspektionsterminen ist nicht sinnvoll, da die Zeitspanne zwischen den Wartungen mit etwa einem Jahr keine zeitnahe Analyse ermöglicht.

Vielmehr bieten sich Mobilfunklösungen auf Basis des „Global System for Mobile Communications“ (GSM) an. Dank der globalen Gültigkeit des Standards ist es möglich, weltweit einen Datenaustausch über das GSM Netz sicherzustellen³⁸. Dies schafft vor allem im Bereich des Flottenmanagements vielfältige Möglichkeiten zur Verfolgung und Auswertung von Fahrzeugen³⁹. Neuere Fahrzeuge bieten selbst Privatanwendern die Möglichkeit, selbstständig über eine durch den Hersteller angebotene Software Fahrzeugdaten auszulesen. Beschränkt sich die Funktionsweise bei konventionellen Fahrzeugen zumeist auf eine reine Überwachung des Fahrzeugs, ermöglichen Elektrofahrzeuge den Mehrwert einer Ladeüberwachung oder Klimasteuerung. Die Verwendung von GSM und die Sammlung vielfältiger Daten weist jedoch auch für den Kunden negative Aspekte auf. So kann der Fahrzeughersteller Renault mittels Mobilfunkverbindung das Aufladen der Batterie verhindern, wenn ein Kunde zum Beispiel seine Leasingrate nicht gezahlt hat [82].

³⁷ <https://www.elektroniknet.de/kommunikation/rfids-geht-uns-das-silber-aus-23874.html>

³⁸ <http://www.informationszentrum-mobilfunk.de/technik/funktionsweise/gsm>

³⁹ <https://www.verizonconnect.com/de/>

Problematisch bei einer Nutzung von GSM Schnittstellen sind jedoch Fragen der IT-Sicherheit und des Datenschutzes. Wie bereits in spektakulären Demonstrationen gezeigt, war es möglich, dass ein Angreifer über das GSM Netz Zugriff auf ein Fahrzeug erhalten kann. Dies ermöglicht im schlimmsten Falle sogar eine Kontrolle sicherheitsrelevanter Funktionen⁴⁰. Es ist daher notwendig, höchste Anforderungen an die Sicherheit des Systems zu stellen. Dies erfordert ein durchgängiges Sicherheitskonzept entlang aller Schichten der Kommunikationskette. Weitere Dienste müssen ebenfalls in das Sicherheitskonzept integriert werden. Es kann zu erhöhten Kosten und potentiellen Gefahrenstellen führen. Neben der Sicherheit der Fahrzeugfunktionen ist die Frage nach Datenschutz und der Sicherheit von personenbezogenem Daten von hoher Relevanz. Die Verwendung und gegebenenfalls Veräußerung von personenbezogenen Daten bewegen sich in einem juristisch schwierigen Feld, dessen Machbarkeit eine tiefergehende Analyse erfordert⁴¹.

6.6. Auslesen der Daten an Ladeinfrastruktur

Einen komplett anderen Ansatz bietet das Auslesen von Daten an einer Ladesäule. Bei der Ladung eines Elektrofahrzeugs tauschen sich die Ladesäule und das Fahrzeug kontinuierlich über verschiedene Parameter aus, um ein sicheres und effizientes Laden möglich zu machen. Ein Ansatz wäre dabei, die durch die Säule gesammelten Informationen für weitere Anwendungen nutzbar zu machen. Dies hätte mehrere Vorteile gegenüber den bisher vorgestellten Lösungsansätzen.

Zunächst einmal müssen Fahrzeuge je nach Nutzungsintensität mit geringen Zeitintervallen geladen werden. Dies wird sicherlich vermehrt an sogenannten Schnellladern geschehen, die Ladeleistungen von mehr als 22 kW anbieten. Diese Systeme werden wiederum sehr selten von Privatpersonen, sondern von größeren Unternehmen oder ganzen Herstellerzusammenschlüssen wie der bereits vorgestellten IONITY betrieben. Dies erleichtert den Aufbau einer einheitlichen Schnittstelle für die Auslesung der Daten, da bei einem Zusammenschluss wie IONITY viele Hersteller gemeinsam an einem Lösungskonzept arbeiten. Neben dem reinen Auslesen von Informationen über die Fahrzeuge bieten sich auch Möglichkeiten des automatisierten Zahlens mittels Blockchain an. Bisher wird für jeden Anbieter einer Ladeinfrastruktur ein eigenes Kundenkonto mit dem damit verbunden bürokratischem Aufwand benötigt. In einer Lösungsumgebung, die auf der

⁴⁰ <https://www.heise.de/security/meldung/Angreifer-koennten-aktuelle-BMW-Modelle-ueber-Mobilfunk-kapern-4055235.html>

⁴¹ <https://www.mein-datenschutzbeauftragter.de/blog/20170424-datenschutz-beim-pkw-wenn-ihr-auto-ein-datensammler-ist/>

Blockchaintechnologie aufbaut, wäre es denkbar, dass das Fahrzeug direkt mittels eines Smart Contracts die geladene Energiemenge bezahlt und dabei gleichzeitig seine Informationen in einer angegliederten dezentralen Datenbank hinterlegt.

Gegenüber Mobilfunk basierter Technologie lassen sich weitere große Vorteile bezüglich des Datenschutzes erkennen. Die Ermittlung und Weitergabe sehr exakter Fahrprofile ist seitens der Anforderungen an den Datenschutz schwierig durchzuführen. Jedoch würde für die meisten, der in den vorherigen Kapiteln angedachten Potentiale, bereits ein nur grobes Nutzungsprofil ausreichen. Dieses könnte alleine durch eine Aufzeichnung der Lademenge und des Ladeortes mit dem dazugehörigen Zeitstempel möglich sein. Diese Daten können unmittelbar und alleinig durch die Ladeinfrastruktur ermittelt werden, wodurch keine genauen personenbezogenen Daten entstehen.

Zusätzlich birgt die Anwendung des Messstellenbetriebsgesetzes für intelligente Messsysteme⁴² einen Ansatz, um der Problematik des Datenschutzes und der Frage nach einer rechtlich einwandfreien Beurteilung des Besitzers der Daten gerecht zu werden. Demnach gilt für intelligente Messsysteme eine Ausnahme vom Datenschutz. Der Netzbetreiber darf auf die Daten eines Messsystems zugreifen und diese zur Abrechnung mit dem Stromversorger benutzen. Dabei ist jedoch wichtig, dass der Netzbetreiber selbst lediglich eine Identifikationsnummer kennt und die Zuweisung zu einer Person oder einem Haushalt erst bei der Abrechnung durch den Stromversorger geschieht [13]. Gleiches System könnte bei Ladesäulen Anwendung finden. Die Ermittlung des Stromverbrauchs und anderer Informationen findet über ein Identifikationsmerkmal statt, jedoch ist kein Rückschluss auf eine einzelne Person möglich. Dies würde eine Nutzung der Informationen auf einem wie auch immer gearteten Markt ermöglichen. Derzeitig ist dieser Ansatz nur eine Idee, denn um die Ausnahme intelligenter Messsysteme nutzen zu können, muss die Ladesäule auch dem deutschen Eichrecht genügen. Dies ist derzeit jedoch nicht der Fall, da unter anderem die Prüfbarkeit der erbrachten Leistung für einen Kunden nicht gegeben ist. Bisher setzen die Betreiber der Ladeinfrastruktur auf zeitbezogene Preismodelle. Für eine bestimmte Zeit wird unabhängig von der in Anspruch genommenen Ladeleistung ein fixer Preis verlangt oder die Betreiber verschenken den Strom [76]. Beides sind jedoch keine zukunftsicheren Ansätze. Von einer Lösung der Eichproblematik ist in naher Zukunft auszugehen.

⁴² Vernetzte Stromzähler mit integrierter Ausleseschnittstelle via Datenfunk

7. Lösungsskizze

In Anlehnung an die im vorherigen Kapitel beschriebenen technischen Lösungsansätze, wird im Folgenden eine ideale Lösungsskizze für die Wahrnehmung der Potentiale einzelner Akteure vorgestellt. Um eine Übersicht der geschilderten Ansätze zu wahren, wird sich die hier vorgestellte Lösungsskizze primär auf eine Betrachtung entlang des Lebenszyklus von Traktionsbatterien konzentrieren.

Aufgrund der im vorherigen Abschnitt dargelegten Vorteile der Blockchaintechnologie soll diese die gemeinsame Grundarchitektur eines branchen- und produktübergreifenden Informationsmarktplatzes bilden. Die Verwaltung und Entwicklung sollte dabei entweder einem gesonderten Unternehmen übertragen werden, welches seine Erträge durch Nutzungslizenzen oder Transaktionsgebühren realisiert. Alternativ wäre auch eine gemeinnützige Vereinsstruktur denkbar, deren Mitglieder gleichzeitig Akteure auf einem Informationsmarkt darstellen. Abbildung 12 verdeutlicht den in Abschnitt 4.1. skizzierten Lebenszyklus von Elektrofahrzeugen und erweitert ihn mit einem geeigneten Informationsmarkt.

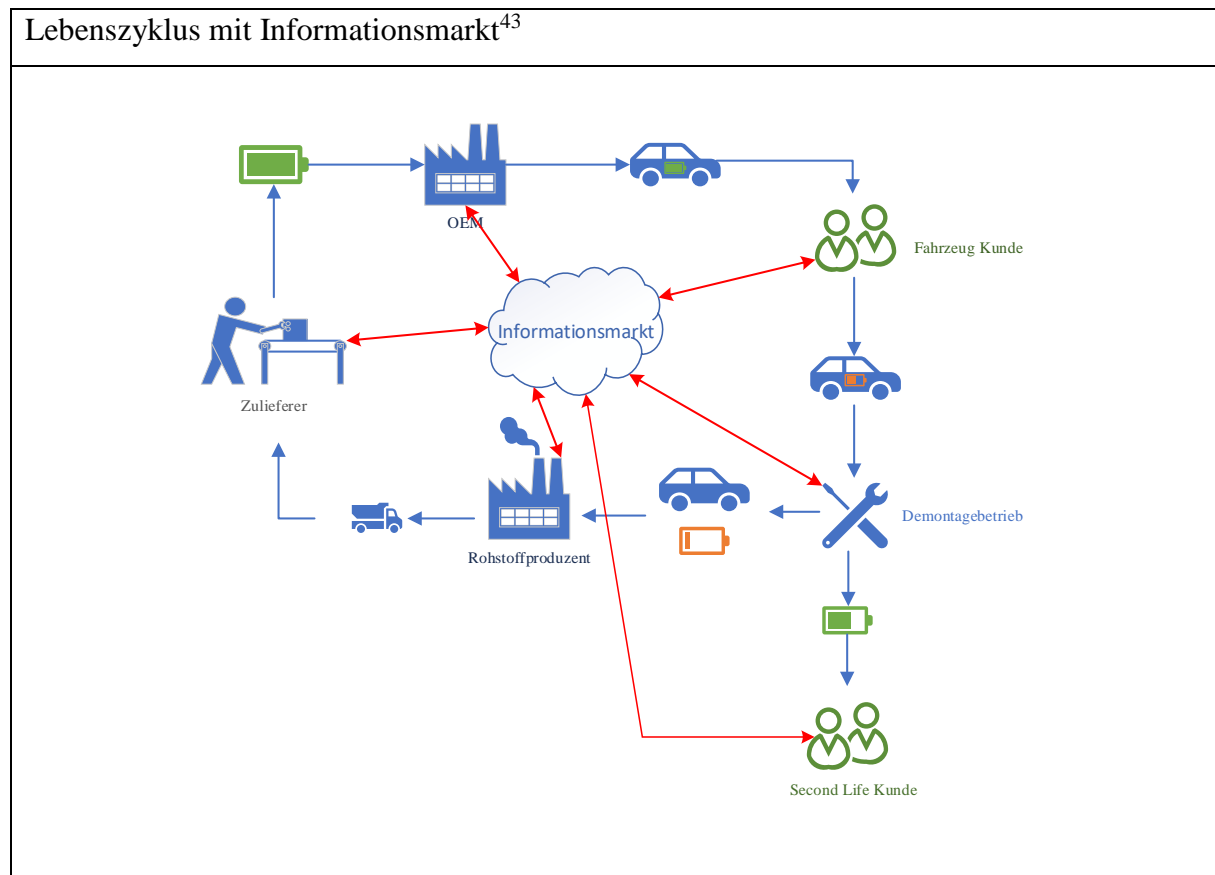


Abbildung 14 Lebenszyklus mit Informationsmarkt

⁴³ Eigene

Beginnend mit der Fertigung einzelner Bauteile ist es notwendig, dass der Zulieferer bereits Grundlagen für eine spätere Identifikation einzelner Komponenten bildet. Elektronikbauteile sollten dabei mittels QR-Code gekennzeichnet werden. Sie erhalten somit eine Verknüpfung zu relevanten Informationen für spätere Akteure, wie den Demontagebetrieben. Bauteile mit gesondert zu behandelten Rohstoffanteilen können wiederum mit einer einfachen Kennzeichnung versehen werden. Gleiches gilt für die Kennzeichnung einzelner Zellen, deren grobe Zusammensetzung der Zellchemie mittels genormter Aufkleber auch ohne weitere technische Hilfsmittel ersichtlich sein sollte. Die Festlegung des Designs und der Informationsgestaltung sollte jedoch von einer herstellerübergreifenden, internationalen Organisation durchgeführt werden. Andernfalls besteht die Gefahr der Herausbildung einer Vielzahl von unterschiedlichen und damit unübersichtlichen Konzepten.

Die einzelnen Batteriemodule erhalten durch die **Zulieferer** einen RFID-Chip und eine individuelle Adresse. Mit Vergabe einer Adresse wird das Modul in eine Blockchain eingetragen und wird somit verfolgbar. Hieraus ergeben sich für den Zulieferer neue Möglichkeiten der Abschätzung zukünftiger Ersatzteilbedarfe und Aussagemöglichkeiten zum Verschleißverhalten einzelner Bauteile.

Die **Fahrzeughersteller** erhalten die einzelnen Bauteile und fügen diese zu einem gesamten Fahrzeug zusammen. Die Hersteller tragen diesen Arbeitsschritt in die Blockchain ein und verknüpfen die jeweiligen Batteriemodule mit dem Fahrzeug. Hierdurch ergeben sich weitere Nutzenaspekte im Bereich der Produktionslogistik. Bezüglich der Restwertbetrachtung vermieteter Traktionsbatterien eröffnen sich erneut große Vorteile bei der Überwachung. Die fälschungssichere Blockchain ermöglicht eine kontinuierliche und zuverlässige Ermittlung des Restwertes.

Die **Fahrzeugkunden** erhalten ihr Fahrzeug und können mittels Abfrage der Blockchain die Historie der Traktionsbatterie und auch des Fahrzeugs fälschungssicher nachverfolgen. Fahrzeugdiebstahl und Manipulation der Laufleistung kann somit verhindert werden. Während der Ladung an einer geeigneten Ladesäule werden SOH sowie Laufleistung und Lastprofil von den Ladesäulen gesammelt und in der Blockchain hinterlegt. Gleichzeitig kann der Zahlvorgang mittels geeigneter Blockchain durchgeführt werden. Die Anlegung unterschiedlicher Nutzungskonten für jeglichen Ladenetzanbieter entfällt deshalb. Wichtig ist jedoch, dass keine personenbezogenen Daten gesammelt werden. Dies kann durch eine strikte Trennung zwischen Fahrzeugidentifizierung und Kundendaten erreicht werden. Denkbar ist, dass die Kundendaten

und die zugehörige Verknüpfung mit einem Fahrzeug nur speziellen Akteuren bekannt sind. Diese Daten dürfen nicht dem Informationsmarkt angeboten werden.

Nach Ende der Fahrzeugnutzung werden die Fahrzeuge an einen geeigneten **Demontagebetrieb** geliefert. Dieser kann dank der im Herstellungsprozess hinterlegten Merkmale eine optimale Zerlegung und anschließende Verwertung sicherstellen. Ein idealer Demontageprozess stellt sich wie folgt dar: Mittels der hinterlegten QR-Codes werden die Demontageanleitungen von einer zentralen Datenbank abgefragt. Im Idealfall können diese Daten für eine Automatisierung an einem standardisierten Demontageplatz genutzt werden. So könnten Roboter selbständig Demontagepunkte abfahren und beispielsweise die schwere Traktionsbatterie vom Fahrzeug entfernen. Mittels der in der Blockchain hinterlegten Batteriedaten kann der Demontagebetrieb eine schnelle und unkomplizierte Zuordnung der Batterien vornehmen und spart die ansonsten langwierige Vermessung. Anschließend wird die Demontage der Fahrzeuge in die Blockchain eingetragen. Der Verbleib und die sachgerechte Verwertung einzelner Komponenten kann dadurch dokumentiert werden.

Bei einer potentiellen Weiternutzung erhalten die **Second Life Kunden** die Traktionsbatterien und können dank der in der Blockchain hinterlegten Daten ein optimales Second Life Produkt zusammenstellen. Des Weiteren wird so eine Investitionsentscheidung für potenzielle Kunden sicherer und attraktiver.

Rohstoffproduzenten können ihre Verwertungsprozesse durch die eindeutige Identifizierung und Kennzeichnung von Rohstoffgehalten in einzelnen Komponenten steuern und eine bessere Verwertung und Wiedergewinnung realisieren. Dabei kann sowohl auf Daten aus der Blockchain, jedoch vorrangig auf eine äußerliche Kennzeichnung mittels Markierungen, zurückgegriffen werden.

8. Fazit und Ausblick

Wie bereits zu Beginn dieser Arbeit herausgestellt ist das Thema Recycling in Verbindung mit neuen Produkten und Abfallströmen von hoher Relevanz und kann nur durch ein Mitwirken unterschiedlichster Akteure realisiert werden. Ziel der gestellten Forschungsfrage war es den derzeitigen Lebenszyklus von Traktionsbatterien und Leistungselektronik zu ermitteln und anschließend Informationspotentiale zu identifizieren, die eine effizientere Verwertung möglich machen. Dies wurde durch die Entwicklung und Darstellung eines Lebenszyklus mit allen relevanten Akteuren in dem Kapitel 5. beantwortet. Darauf aufbauend wurden Potentiale

für einen Austausch von Informationen für einzelne Akteure herausgestellt, die im Ganzen auch eine Verbesserung der Verwertung beabsichtigen.

Während der Entwicklung von Lösungsmöglichkeiten wurden sowohl auf technischer als auch auf juristischer Seite eine Vielzahl von Hemmnissen für einen avisierten Informationsaustausch identifiziert. So zeigt sich, dass eine Nachnutzung von Traktionsbatterien durch fehlende Standardisierungen der Software als auch der Hardware äußerst komplex ist. Daneben gibt es unterschiedlichste juristische Fragen, die eine Second-Life Applikation kostenintensiv gestaltet.

Darüber hinaus müssen Hersteller und Zulieferer ihr „Inseldenken“ verlassen und geeignete Kooperationen und Schnittstellen zu ihren Produkten bieten. Hierdurch wird erst ein Austausch über unterschiedliche Systeme ermöglicht. Es ist davon auszugehen, dass Hersteller in der Tat tiefere Kooperationen eingehen werden, da bereits die Entwicklung von Elektrofahrzeugen aufgrund der hohen Kosten zu neuen Partnerschaften führen. Beispielhaft ist die Kooperation zwischen Daimler und BMW, beziehungsweise das gemeinsame Ladeinfrastrukturprojekt IONITY zu nennen.

Jegliche Entwicklung wird in einem juristischen Rahmen ablaufen. An dieser Stelle ist der Gesetzgeber verpflichtet Innovationen auch durch Novellierungen zu ermöglichen. Im Rahmen des „Circular Economy Action Plan“ der europäischen Kommission werden bereits neue Bedingungen erlassen, jedoch liegt der Fokus stark auf Themen der Verwertung an sich. Wie in dieser Arbeit herausgestellt gibt es jedoch weitreichenden Handlungsbedarf im Bereich des Datenschutzes, der Eichgesetze oder dem Privatrecht. Ohne Reformen kann ein hier skizzierter, idealer Informationsmarkt nicht realisiert werden.

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass eine Realisierung der in dieser Arbeit entwickelte Ideallösung erst nach einer Vielzahl von Vorschriften machbar wäre. Das Potential, auf Seiten der reinen Verwertung ist groß. Noch viel größer könnte jedoch der Gewinn an gesammelten Daten unterschiedlichster Ausprägung sein, dass wiederum die Realisierung der Lösungen rund um die reine Verwertung begünstigt. Es ist wünschenswert diese Ideen breiter zu kommunizieren und somit auch auf politischer Seite den Grad der Aufmerksamkeit zu erhöhen.

Literatur

- [1] *104th Congress*. Mercury-Containing and Rechargeable Battery Management Act. H.R. 2024; 1995.
- [2] *Al G.* RFID Technology. Hauppauge: Nova Science Publishers Incorporated; 2018.
- [3] *Andrea D.* Battery management systems for large lithium-ion battery packs. Boston: Artech House; 2010.
- [4] *Arnberger A.* Recycling von Lithium-Ionen-Batterien.
- [5] *Arnberger A., Coskun E., Rutrecht B.* Hybride Lithiumgewinnung; 08.2013.
- [6] *Bernhard Swen.* Firmeninfo. <https://www.lrp-autorecycling.de/firmeninformation/>. 13.02.2019.
- [7] *Bittmann C.* Besuch im größten Ersatzteillager der Welt. <https://www.autobild.de/bilder/besuch-im-groessten-ersatzteillager-der-welt-1223754.html#bild1>. 16.02.2019.
- [8] *Boesche K., Rataj D.* Zivil- und datenschutzrechtliche Zuordnung von Daten vernetzter Elektrofahrzeuge. Ergebnispapier der Begleit- und Wirkungsforschung; 03.2016.
- [9] *BSW - Bundesverband Solarwirtschaft e.V.* EEG-Vergütungssätze. <https://www.solarwirtschaft.de/eeg.html>.
- [10] *Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.* Bürgerliches Gesetzbuch. BGB.
- [11] *Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.* Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Batterien und Akkumulatoren. BattG.
- [12] *Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.* Verordnung über die Überlassung, Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung von Altfahrzeugen. AltfahrzeugG.
- [13] *Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.* Gesetz über den Messstellenbetrieb und die Datenkommunikation in intelligenten Energienetzen. MsbG; 22.12.2016.
- [14] *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit.* Jahresberichte über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten in Deutschland; 06.2018.
- [15] *Burkard C.* Modellierung der zukünftigen elektromobilen Wertschöpfungskette und Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Stärkung des Elektromobilitätsstandortes NRW; 09.2014.
- [16] *Clement R., Schreiber D.* Internet-Ökonomie. Grundlagen und Fallbeispiele der vernetzten Wirtschaft. Heidelberg: Springer; 2010.
- [17] *Das europäische Parlament und der Rat der europäischen Union.* Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des

Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO₂-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen. VERORDNUNG (EG) Nr. 443/2009; 04.2009.

- [18] *Desjardins J.* Electric cars are going to mean a lot of demand for nickel.
<https://www.businessinsider.de/electric-car-batteries-are-going-to-drive-a-lot-of-demand-for-nickel-2017-10?r=UK>. 21.02.2019.
- [19] *Drabik E., Rizos V.* Prospects for electric vehicle batteries in a circular economy. CEPS Research Report.
- [20] *Dudenhöffer K.* Akzeptanz von Elektroautos in Deutschland und China. Eine Untersuchung von Nutzungsintentionen im Anfangsstadium der Innovationsdiffusion.
- [21] *Enkvist P.-A., Klevnäs P.* The Circular Economy a Powerful Force for Climate Mitigation. Transformative innovation for prosperous and low-carbon industry. Stockholm.
- [22] *Finke Y.* Entwicklung einer Systematik zur Strategiewahl durch multivariate Analyseverfahren in der Nachserienversorgung von Elektronikbaugruppen. Schlussbericht.
- [23] *Fischhaber S., Regett A., Schuster S., Hesse H.* Second-Life-Konzepte für Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen. Analyse von Nachnutzungsanwendungen, ökonomischen und ökologischen Potentialen.
- [24] *FORD H.* MEIN LEBEN UND WERK (CLASSIC REPRINT). [Place of publication not identified]: FORGOTTEN Books; 2016.
- [25] *Frank S.* Akku-Experte warnt: "Es wird viel zu wenig recycelt".
<https://edison.handelsblatt.com/erklaren/akku-experte-warnt-es-wird-viel-zu-wenig-recycelt/23627144.html>. 02.03.2019.
- [26] *Graf A., Schneider H.* Das E-Commerce-Buch. Marktanalysen - Geschäftsmodelle - Strategien, 2. Aufl. Frankfurt am Main: dfv Mediengruppe Fachbuch; 2017.
- [27] *Grasshoff T.* Einen Schritt voraus – Aufbau- und Verbindungstechnik optimiert Leistungselektronik. Elektronik Journal, 12–16.
- [28] *Groke M., Kaerger W., Sander K.* Optimierung der Separation von Bauteilen und Materialien aus Altfahrzeugen zur Rückgewinnung kritischer Metalle (ORKAM). Endbericht; 02.2017.
- [29] *Grundhoff S.* Modularer Elektrobaukasten von VW. Das Lego-Prinzip: Wie Volkswagen zum Elektro-Massenproduzenten werden will.
https://www.focus.de/auto/elektroauto/modularer-elektrobaukasten-von-volkswagen-modular-und-rein-elektrisch_id_10137892.html. 07.02.2019.
- [30] *Handelsblatt GmbH.* Leasing im Aufwind: 41 Prozent aller Fahrzeuge werden geleast.
<https://innovationen.handelsblatt.com/2018/03/21/leasing-im-aufwind-41-prozent-aller-fahrzeuge-werden-geleast/>. 16.02.2019.

- [31] *Hännike A.* E-Mobilität: Der Rohstoffbedarf und seine Herausforderungen für Europa. <https://blog.oeko.de/e-mobilitaet-der-rohstoffbedarf-und-seine-herausforderungen-fuer-europa/>. 15.02.2019.
- [32] *Henßler S.* China ruft Elektrofahrzeug-Batterie-Recycling Pilotprogramm ins Leben. <https://www.elektroauto-news.net/2018/china-batterie-recycling-pilotprogramm>. 02.03.2019.
- [33] *Henßler S.* China will System zur Verfolgung des Recyclings von Elektroautobatterien einführen. <https://www.elektroauto-news.net/2018/china-system-verfolgung-recycling-elektroautobatterien>. 02.03.2019.
- [34] *Herdlitschka M.* Daimler und enercity nehmen Batterie-Ersatzteillager für Elektrofahrzeuge ans Netz. <https://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko.xhtml?oid=29974519&relId=1001&resultInfoTypeId=175#toRelation>. 16.02.2019.
- [35] *Herrmann R.* Wissenspyramide. <https://derwirtschaftsinformatiker.de/2012/09/12/it-management/wissenspyramide-wiki/>. 08.03.2019.
- [36] *Heuer A., Sattler K.-U., Saake G.* Datenbanken. Konzepte und Sprachen. Frechen: MITP; 2018.
- [37] *Hildebrand K., Gebauer M., Hinrichs H., Mielke M.* Daten- und Informationsqualität. Auf dem Weg zur Information Excellence, 4. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg; 2018.
- [38] *Hill B., Chopra S., Valencourt P., Prusty N.* Blockchain Developer's Guide. Develop Smart Applications with Blockchain Technologies - Ethereum, JavaScript, Hyperledger Fabric, and Corda. Birmingham: Packt Publishing Ltd; 2018.
- [39] *Hofmann R.* Grundlegende Prinzipien des Unionsrechts. Europarecht 1; 2012.
- [40] *Holve K.-B.* Auslegungsaspekte von Batteriepacks und Batteriemangement-Systemen; 31.07.2018.
- [41] *House - Interstate and Foreign Commerce.* Resource Conservation and Recovery Act. H.R.14496; 1976.
- [42] *Hummel P., Lesne D., Radlinger J.* UBS Evidence Lab Electric Car Teardown. Disruption Ahead? .
- [43] *International electrotechnical Commission.* Secondary Cells and Batteries. Marking symbols for identification of their chemistry. <https://webstore.iec.ch/publication/29912>.
- [44] *IONITY.* Technik. <https://ionity.eu/de/design-und-technik.html>.
- [45] *Ittershagen M.* Altfahrzeugverwertung und Fahrzeugverbleib. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altfahrzeugverwertung-fahrzeugverbleib#textpart-4>. 08.02.2019.
- [46] *Johnson P.* Strategies and Outlook.
- [47] *Jossen A., Weydanz W.* Moderne Akkumulatoren richtig einsetzen, 1. Aufl. Neusäß: Ubooks-Verlag; 2006.

- [48] *Kallen Carlo*. Netzentgelte Strom. <https://www.enercity-netz.de/partner/lieferanten/netzentgelte-strom/index.html>. 26.02.2019.
- [49] *Kaschub T*. Batteriespeicher in Haushalten unter Berücksichtigung von Photovoltaik, Elektrofahrzeugen und Nachfragesteuerung: Karlsruhe.
- [50] *Klug F*. Logistikmanagement in der Automobilindustrie. Grundlagen der Logistik im Automobilbau. Berlin: Springer; 2010.
- [51] *Kölling M*. Panasonic ist auf Tesla angewiesen - und hofft auf die Wende beim Model 3. <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/elektromobilitaet-panasonic-ist-auf-tesla-angewiesen-und-hofft-auf-die-wende-beim-model-3/22795178.html?ticket=ST-2669863-gtEhX74bIfhtjydcvOPR-ap1>. 12.01.2019.
- [52] *Korthauer R*. Handbuch Lithium-Ionen-Batterien. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg; 2013.
- [53] *Krausa M*. Energiedichte. <https://batterie-2020.de/lexikon/>.
- [54] *Kreutzmann H., Aurubis AG*. Expertengespräch, Director Group Sampling & Laboratory.
- [55] *Kroher T*. Elektro, Gas, Benzin, Diesel & Hybrid: Die Ökobilanz unserer Autos. <https://www.adac.de/der-adac/motorwelt/reportagen-berichte/auto-innovation/studie-oekobilanz-pkw-antriebe-2018/>. 14.01.2019.
- [56] *Kurz U., Hintzen H., Laufenberg H*. Konstruieren, Gestalten, Entwerfen. Lehr- und Arbeitsbuch für das Studium der Konstruktionstechnik, 3. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag; 2004.
- [57] *Kwade A., Bärwaldt G*. Recycling von Lithium-Ionen-Batterien. Abschlussbericht zum Verbundvorhaben LithoRec.
- [58] *Lawrenz S., Sharma P., Rausch A*. Blockchain technology as an approach for data marketplaces.
- [59] *Lebedeva N., Di Persio F., Brett-Boon L*. Lithium ion battery value chain and related opportunities for Europe.
- [60] *Maass W*. Elektronische Wissensmärkte. (neue betriebswirtschaftliche forschung, Band 371), 1. Aufl. s.l.: Gabler Verlag; 2009.
- [61] *Marcu A., Stoefs W., Tuokko K*. Composition and drivers of energy prices and costs: case studies in selected energy-intensive industries. Brüssel; 06/2016.
- [62] *Neißendorfer M*. Warum das Stromnetz von morgen Elektroautos braucht. <https://www.sueddeutsche.de/auto/smart-grid-warum-das-stromnetz-von-morgen-elektroautos-braucht-1.3707189>. 16.02.2019.
- [63] *Next Kraftwerke GmbH*. Was ist Peak Shaving? <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/strommarkt/peak-shaving>. 26.02.2019.
- [64] *OECD*. Economic Aspects of Extended Producer Responsibility. Paris: OECD Publishing; 2004.
- [65] *Oertel D*. Energiespeicher - Stand und Perspektiven; Februar 2018.

- [66] *OFFICE G. P. MINERAL COMMODITIES SUMMARY* 2018. [Place of publication not identified]: U S Govt. PRINTING Office; 2018.
- [67] *Porter M., Heppelmann J.* How smart, connected products are transforming competition; 11.2014.
- [68] *Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Bauer, Florian Rothfuss, Dr. Jennifer Dungs, Florian Herrmann.* Strukturstudie BWe mobil 2015: Elektromobilität in Baden-Württemberg. Stuttgart.
- [69] *Proff H., Fojcik T. M.* Mobilität und Digitale Transformation. Technische und Betriebswirtschaftliche Aspekte. Wiesbaden: Gabler; 2018.
- [70] *Propfe B.* Marktpotentiale elektrifizierter Fahrzeugkonzepte unter Berücksichtigung von technischen, politischen und ökonomischen Randbedingungen; 12.2015.
- [71] *Rahimzei E., Regett A., Fischhaber S., Schuster S.* Maßnahmenpapier zur Studie: Second-Life-Konzepte für Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen.
- [72] *Renault Deutschland AG.* Ihre Batterie. Profitieren Sie von den niedrigen Betriebskosten des Renault ZOE. <https://www.renault.de/modellpalette/renault-modelluebersicht/zoe/batteriemiete%20und%20batteriekauf.html>. 16.02.2019.
- [73] *Robert Bosch GmbH.* Bosch eXchange. https://de.bosch-automotive.com/de/parts_and_accessories/specials_1/bosch_exchange_3/overview_bosch_exchange. 07.02.2019.
- [74] *Rutschmann I.* Sonnenstrom im Akku speichern. <https://www.finanztip.de/photovoltaik/stromspeicher/>. 22.02.2019.
- [75] *Santos M., Moura E.* Hands-On IoT Solutions with Blockchain. Discover How Converging IoT and Blockchain Can Help You Build Effective Solutions. Birmingham: Packt Publishing Ltd; 2019.
- [76] *Schaal . Sebastian.* Das Eichrecht bremst Ladesäulen aus. <https://www.wiwo.de/unternehmen/auto/elektroautos-das-eichrecht-bremst-ladesaeulen-aus/22741264.html>. 14.03.2019.
- [77] *Schaal . Sebastian.* Vehicle-to-Grid: Wie ein Elektroauto das Stromnetz stabilisiert. <https://edison.handelsblatt.com/ertraeumen/vehicle-to-grid-wie-ein-elektroauto-das-stromnetz-stabilisiert/23228592.html>. 27.02.2019.
- [78] *Schiller K.* Was sind Smart Contracts? . Definition und Erklärung. <https://blockchainwelt.de/smart-contracts-vertrag-blockchain/>. 10.03.2019.
- [79] *Seiffert R.* Die Ära Gottlieb Daimlers. Neue Perspektiven zur Frühgeschichte des Automobils und seiner Technik, 1. Aufl. s.l.: Vieweg+Teubner (GWV); 2009.
- [80] *Siemens AG.* PresseUNterlagen zum Siemens-Pavilion. Pionierleistungen der Elektromobilität, 1905 - 2010.
- [81] *Soleille S., Planchon M., Gunn G., Brown T.* Study on the review of the of Critical Raw Materials. Criticality Assessments; 06.2017.

- [82] *Steinlechner P.* Rückrufe wegen Software steigen stark.
<https://www.golem.de/news/automobile-rueckrufe-wegen-software-steigen-stark-1606-121305.html>. 14.03.2019.
- [83] *Sterner M., Stadler I.* Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration, 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg; 2017.
- [84] *Tesla.* Supercharger. Unterwegs laden. https://www.tesla.com/de_DE/supercharger.
- [85] *Thermo Fisher (Kandel) GmbH.* Sicherheitsdatenblatt Lithiumhexafluorophosphat.
- [86] *Thiel S., Thomé-Kozmiensky E., Goldmann D.* Recycling und Rohstoffe. Nietwerder: TKh2018; 2018.
- [87] *Thomé-Kozmiensky K. J., Thiel S., Thomé-Kozmiensky E., Goldmann D.* Recycling und Rohstoffe. Nietwerder: TK-Vlg; 2017.
- [88] *Vahrenkamp R., Kotzab H., Siepermann C.* Logistik. Management und Strategien, 7. Aufl. München: Oldenbourg; 2012.
- [89] *Vermesan O., Friess P.* Internet of things. Converging technologies for smart environments and integrated ecosystems: River Publishers; 2014.
- [90] *Viehmann S.* Elektroauto als Klima-Retter? Studie entlarvt globale Fehleinschätzung. 14.01.2019.
- [91] *Vogt M., Bongard S.* Treiber und Hemmnisse bei der Anschaffung von Elektroautos. Ergebnisse der Nutzerbefragung von elektromobilitätsinteressierten Personen im Rahmen der Begleit- und Wirkungsforschung; 11.2015.
- [92] *Weber R.* Elektroautos: Wie sicher und sauber sind sie wirklich?
<https://www.daserste.de/information/wirtschaft-boerse/plusminus/sendung/Elektroauto-sicherheit-umwelt-100.html>. 08.02.2019.
- [93] *Widmer R., Du X., Haag O., Restrepo E., Wäger P. A.* Scarce metals in conventional passenger vehicles and end-of-life vehicle shredder output. Environmental science & technology. 2015; 49: 4591–4599.
- [94] *Winter M.* Ersatzteilversorgung. Rechte und Pflichten der Hersteller und des Verbrauchers.
<https://www.mobile.de/magazin/ratgeber/verkehrsrecht/ersatzteilversorgung.html>. 07.02.2019.
- [95] *Worrell E., Reuter M. A.* Handbook of recycling. State-of-the-art for practitioners, analysts, and scientists. Amsterdam: Elsevier; 2014.
- [96] *Wortmann F., Flüchter K.* Internet of Things. Business & Information Systems Engineering. 2015; 57: 221–224.
- [97] *Zhao G.* Reuse and recycling of lithium-ion power batteries. Singapore, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2017.
- [98] *Zyskind G., Nathan O., Pentland A.* Enigma: Decentralized Computation Platform with Guaranteed Privacy.

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, dass alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus anderen Quellen übernommen wurden, als solche kenntlich gemacht sind, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegt wurde.

Hiermit erkläre ich mich damit einverstanden, dass meine Masterarbeit in der Instituts- und/oder der Universitätsbibliothek ausgelegt und zur Einsichtnahme aufbewahrt werden darf.

Ort, Datum und Unterschrift